

immer besser ist, wenn man ein Rad etwas zu gross, als wenn man es etwas zu klein bestimmt, so ist es zweckmässig, die Prozente nicht zu günstig anzunehmen.

Nach den früheren Effektberechnungen dürfen wir das Verhältniss zwischen dem Nutzeffekt und dem absoluten Effekt der Wasserkraft annehmen für

das unterschlächtige Rad	0.30 bis 0.35
„ Kropfrad	0.40 — 0.50
„ Poncelet'sche Rad	0.60 — 0.65
„ Ueberfall-Rad	0.60 — 0.65
„ Coulissenrad	0.65 — 0.70
„ rückschlächtige Rad	0.60 — 0.70
„ überschlächtige Rad	0.60 — 0.70

Die Wassermenge, welche bei einem Rade in 1 Sekunde nothwendig ist, um einen Nutzeffekt von N_n Pferdekraft à 75 Kil. M. zu erhalten, ist demnach

für das unterschlächtige Rad	$Q = 0.21 \frac{N_n}{H}$ bis $0.25 \frac{N_n}{H}$
„ „ Kropfrad	$Q = 0.175 \frac{N_n}{H}$ „ $0.187 \frac{N_n}{H}$
„ „ Poncelet-Rad	$Q = 0.115 \frac{N_n}{H}$ „ $0.125 \frac{N_n}{H}$
„ „ Ueberfall-Rad	$Q = 0.115 \frac{N_n}{H}$ „ $0.125 \frac{N_n}{H}$
„ „ Coulissen-Rad	$Q = 0.107 \frac{N_n}{H}$ „ $0.115 \frac{N_n}{H}$
„ „ rückschlächtige Rad	$Q = 0.107 \frac{N_n}{H}$ „ $0.125 \frac{N_n}{H}$
„ „ überschlächtige Rad	$Q = 0.107 \frac{N_n}{H}$ „ $0.125 \frac{N_n}{H}$

Wahl des Rades.

Die Wahl der Mittel zur Erreichung eines Zweckes ist für jedes Unternehmen von der grössten Wichtigkeit. Wenn eine Einrichtung zur Benutzung einer Wasserkraft getroffen werden soll, bietet sich daher zunächst die Frage dar, ob eine Turbine oder ob ein Wasserrad genommen werden soll. Diese Frage kann aber erst dann gründlich beantwortet werden, wenn man sowohl die Wasserräder, als auch die Turbinen in jeder Hinsicht genau kennt und dadurch im Stande ist, die Vortheile und Nachtheile dieser beiden Anordnungen zuverlässig abzuwägen.

Wir müssen daher die Entscheidung dieser wichtigen Frage bis zum Schluss dieser Abhandlung über die Wasserräder verschieben, und wollen deshalb bis dahin von der Turbine ganz abstrahiren, wollen uns also so benehmen, als gäbe es gar keine Turbine.

Bei dieser Einschränkung haben wir also gegenwärtig nur die Frage zu entscheiden, welche von allen Anordnungen von Wasserrädern in jedem gegebenen Falle die zweckmässigste sei. Es ist klar, dass es theils von der Wassermenge, vorzugsweise aber von

der Grösse des Gefälles abhängt, ob man das eine oder das andere Rad wählen soll, und es kommt nur darauf an, diese Abhängigkeit genau zu bestimmen, d. h. die Grenzen anzugeben, innerhalb welcher sowohl das Gefälle als auch die Wassermenge liegen muss, wenn das eine oder das andere von den Rädern mit Vortheil soll angewendet werden können. Diese Grenzen lassen sich nur mit vieler Mühe befriedigend ermitteln, wenn man verschiedene Gefälle und für jedes Gefälle verschiedene Wasserquantitäten annimmt, sodann für jede dieser Wasserkraft diejenigen Arten von Rädern construirt und berechnet, von welchen man vermuthen kann, dass sie zweckmässig ausfallen dürften. Durch Vergleichung der Gefälle und Wassermenge von den sich ergebenden guten Konstruktionen der gleichen Art lassen sich dann die Grenzen der zweckmässigsten Anwendbarkeit der verschiedenen Räder bestimmen. Dass man bei diesem Geschäft auch die ausgeführten Räder berücksichtigen muss, bedarf kaum einer Erwähnung. Die Resultate, welche ich auf dem so eben bezeichneten Wege gefunden habe, können für die Uebersicht und für den praktischen Gebrauch am einfachsten graphisch dargestellt werden, was auf Tafel 4 Fig. 37 geschehen ist. Die horizontale Zahlenreihe bedeutet die in Metern ausgedrückten Gefälle, die vertikale Zahlenreihe die in Kubik-Metern ausgedrückten Wassermengen.

Die verschiedenen geraden und krummen Linien innerhalb der Grenzen der ganzen Figur sind die Grenzen der Anwendbarkeit der verschiedenen Arten von Rädern. Die krumme Linie AB bestimmt die grössten Wasserkräfte, welche noch durch ein einziges Rad nutzbar gemacht werden können.

Die Richtigkeit der Grenzbestimmung vorausgesetzt, ist es vermittelst dieser Karte ein Leichtes, in jedem speziellen Falle zu bestimmen, was für ein Rad gebaut werden soll. Man sucht nämlich vermittelst der horizontalen Zahlenreihe die Vertikallinie auf, welche dem gegebenen Gefälle entspricht und vermittelst der vertikalen Zahlenreihe die Horizontallinie, welche mit der gegebenen Wassermenge übereinstimmt; der Punkt, in welchem sich diese zwei Linien durchschneiden, liegt dann in dem Wasserkraftgebiet des zu wählenden Rades. Ist z. B. das gegebene Gefälle 3^m und die Wassermenge 1.5 Kubikmeter, so führen diese Daten auf einen Punkt in dem Gebiete des Coulissenrades. Ist das Gefälle 4.5^m und die Wassermenge 0.8 Kub. M., so wird man auf ein rückschlächtiges Rad geführt. Der Gebrauch dieser Karte unterliegt also durchaus keiner Schwierigkeit.

Zur Rechtfertigung dieser Grenzbestimmungen werden folgende Erklärungen dienen können.

Die Anwendbarkeit des unterschlächtigen Rades ist bis zu einem Meter Gefälle festgesetzt, weil erst von diesem Gefälle an eine Krümmung des Gerinnes von merklichem Vortheil sein kann.

Das Gebiet des Kropfrades hat hinsichtlich des Gefälles ziemlich enge Grenzen erhalten, weil für Gefälle, die grösser als 1.5^m und für Wassermengen unter 2 Kub. M. das Ueberfallrad vortheilhafter ist. Das Kropfrad kann übrigens nur dann angewendet werden, wenn der Wasserstand im Zuflusskanale nicht sehr veränderlich ist.

Das Gebiet des Poncelet-Rades erstreckt sich über die Gebiete des unterschlächtigen und über einen Theil des Kropfrades. Das grösste Gefälle ist auf 1.7^m festgesetzt. Poncelet

Handwritten notes:
 4. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120. 121. 122. 123. 124. 125. 126. 127. 128. 129. 130. 131. 132. 133. 134. 135. 136. 137. 138. 139. 140. 141. 142. 143. 144. 145. 146. 147. 148. 149. 150. 151. 152. 153. 154. 155. 156. 157. 158. 159. 160. 161. 162. 163. 164. 165. 166. 167. 168. 169. 170. 171. 172. 173. 174. 175. 176. 177. 178. 179. 180. 181. 182. 183. 184. 185. 186. 187. 188. 189. 190. 191. 192. 193. 194. 195. 196. 197. 198. 199. 200. 201. 202. 203. 204. 205. 206. 207. 208. 209. 210. 211. 212. 213. 214. 215. 216. 217. 218. 219. 220. 221. 222. 223. 224. 225. 226. 227. 228. 229. 230. 231. 232. 233. 234. 235. 236. 237. 238. 239. 240. 241. 242. 243. 244. 245. 246. 247. 248. 249. 250. 251. 252. 253. 254. 255. 256. 257. 258. 259. 260. 261. 262. 263. 264. 265. 266. 267. 268. 269. 270. 271. 272. 273. 274. 275. 276. 277. 278. 279. 280. 281. 282. 283. 284. 285. 286. 287. 288. 289. 290. 291. 292. 293. 294. 295. 296. 297. 298. 299. 300. 301. 302. 303. 304. 305. 306. 307. 308. 309. 310. 311. 312. 313. 314. 315. 316. 317. 318. 319. 320. 321. 322. 323. 324. 325. 326. 327. 328. 329. 330. 331. 332. 333. 334. 335. 336. 337. 338. 339. 340. 341. 342. 343. 344. 345. 346. 347. 348. 349. 350. 351. 352. 353. 354. 355. 356. 357. 358. 359. 360. 361. 362. 363. 364. 365. 366. 367. 368. 369. 370. 371. 372. 373. 374. 375. 376. 377. 378. 379. 380. 381. 382. 383. 384. 385. 386. 387. 388. 389. 390. 391. 392. 393. 394. 395. 396. 397. 398. 399. 400. 401. 402. 403. 404. 405. 406. 407. 408. 409. 410. 411. 412. 413. 414. 415. 416. 417. 418. 419. 420. 421. 422. 423. 424. 425. 426. 427. 428. 429. 430. 431. 432. 433. 434. 435. 436. 437. 438. 439. 440. 441. 442. 443. 444. 445. 446. 447. 448. 449. 450. 451. 452. 453. 454. 455. 456. 457. 458. 459. 460. 461. 462. 463. 464. 465. 466. 467. 468. 469. 470. 471. 472. 473. 474. 475. 476. 477. 478. 479. 480. 481. 482. 483. 484. 485. 486. 487. 488. 489. 490. 491. 492. 493. 494. 495. 496. 497. 498. 499. 500. 501. 502. 503. 504. 505. 506. 507. 508. 509. 510. 511. 512. 513. 514. 515. 516. 517. 518. 519. 520. 521. 522. 523. 524. 525. 526. 527. 528. 529. 530. 531. 532. 533. 534. 535. 536. 537. 538. 539. 540. 541. 542. 543. 544. 545. 546. 547. 548. 549. 550. 551. 552. 553. 554. 555. 556. 557. 558. 559. 560. 561. 562. 563. 564. 565. 566. 567. 568. 569. 570. 571. 572. 573. 574. 575. 576. 577. 578. 579. 580. 581. 582. 583. 584. 585. 586. 587. 588. 589. 590. 591. 592. 593. 594. 595. 596. 597. 598. 599. 600. 601. 602. 603. 604. 605. 606. 607. 608. 609. 610. 611. 612. 613. 614. 615. 616. 617. 618. 619. 620. 621. 622. 623. 624. 625. 626. 627. 628. 629. 630. 631. 632. 633. 634. 635. 636. 637. 638. 639. 640. 641. 642. 643. 644. 645. 646. 647. 648. 649. 650. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 657. 658. 659. 660. 661. 662. 663. 664. 665. 666. 667. 668. 669. 670. 671. 672. 673. 674. 675. 676. 677. 678. 679. 680. 681. 682. 683. 684. 685. 686. 687. 688. 689. 690. 691. 692. 693. 694. 695. 696. 697. 698. 699. 700. 701. 702. 703. 704. 705. 706. 707. 708. 709. 710. 711. 712. 713. 714. 715. 716. 717. 718. 719. 720. 721. 722. 723. 724. 725. 726. 727. 728. 729. 730. 731. 732. 733. 734. 735. 736. 737. 738. 739. 740. 741. 742. 743. 744. 745. 746. 747. 748. 749. 750. 751. 752. 753. 754. 755. 756. 757. 758. 759. 760. 761. 762. 763. 764. 765. 766. 767. 768. 769. 770. 771. 772. 773. 774. 775. 776. 777. 778. 779. 780. 781. 782. 783. 784. 785. 786. 787. 788. 789. 790. 791. 792. 793. 794. 795. 796. 797. 798. 799. 800. 801. 802. 803. 804. 805. 806. 807. 808. 809. 810. 811. 812. 813. 814. 815. 816. 817. 818. 819. 820. 821. 822. 823. 824. 825. 826. 827. 828. 829. 830. 831. 832. 833. 834. 835. 836. 837. 838. 839. 840. 841. 842. 843. 844. 845. 846. 847. 848. 849. 850. 851. 852. 853. 854. 855. 856. 857. 858. 859. 860. 861. 862. 863. 864. 865. 866. 867. 868. 869. 870. 871. 872. 873. 874. 875. 876. 877. 878. 879. 880. 881. 882. 883. 884. 885. 886. 887. 888. 889. 890. 891. 892. 893. 894. 895. 896. 897. 898. 899. 900. 901. 902. 903. 904. 905. 906. 907. 908. 909. 910. 911. 912. 913. 914. 915. 916. 917. 918. 919. 920. 921. 922. 923. 924. 925. 926. 927. 928. 929. 930. 931. 932. 933. 934. 935. 936. 937. 938. 939. 940. 941. 942. 943. 944. 945. 946. 947. 948. 949. 950. 951. 952. 953. 954. 955. 956. 957. 958. 959. 960. 961. 962. 963. 964. 965. 966. 967. 968. 969. 970. 971. 972. 973. 974. 975. 976. 977. 978. 979. 980. 981. 982. 983. 984. 985. 986. 987. 988. 989. 990. 991. 992. 993. 994. 995. 996. 997. 998. 999. 1000.

hat zwar der Gefällgrenze eine grössere Ausdehnung gegeben, allein es sind mehrere Gründe vorhanden, die darauf hinweisen, dass dieses Rad bei Gefällen über 1.7^m keine vortheilhafte Anordnung sein kann, denn 1) wird bei grossen Gefällen der Effektverlust von Bedeutung, welcher durch das Entweichen des Wassers durch den Spielraum zwischen dem Rade und dem Gerinne entsteht; 2) wird das Verhältniss zwischen der Breite des Rades und der Höhe der Radkrone unzweckmässig; 3) wird schon bei einem Gefälle von 1.7^m der Halbmesser des Rades wenigstens 3^m, bei noch grösserem Gefälle müsste also das Rad sehr gross und dadurch kostspieliger ausfallen, als andere Räder; 4) wenn einmal das Gefälle über 1.7^m ist, geben das Ueberfallrad und das Coulissenrad einen eben so guten, wo nicht besseren Effekt als das Poncelet'sche Rad.

Da das Poncelet'sche Rad zwar einen besseren Effekt gibt, als das unterschlächtige und das Kropfrad, aber kostspieliger ausfällt, als diese letzteren, so ist es statt diesen dann vorzuziehen, wenn die vorhandene absolute Wasserkraft nur bei sehr guter Verwendung zum Betriebe eines Werkes hinreichend werden kann. Ist aber der Wasserzufluss mehr als hinreichend, so kann man sich der hinsichtlich ihrer Konstruktion einfacheren Anordnungen des unterschlächtigen und Kropfrades bedienen.

Das Kraftgebiet des Ueberfallrades hat zwar keine grosse Ausdehnung, dessenungeachtet wird man doch sehr oft veranlasst sein, dieses Rad zu wählen, weil in seinem Kraftgebiete diejenigen Wasserkräfte liegen, welche am häufigsten in der Praxis zu benutzen sind.

Nach der Karte hört die Anwendbarkeit des Ueberfallrades auf bei Wassermengen über 2.5 Kub. M. Der Grund hiervon liegt in dem Umstande, dass bei Wassermengen über 2.5 Kub. M. ein Coulisseneinlauf eine bessere Leitung des Wassers bewirkt, als ein freier Ueberfall.

Aus der Karte sieht man ferner, dass für das Ueberfallrad das grösste Gefälle auf 2.5^m bestimmt worden ist, diess ist aus dem Grunde geschehen, weil für grössere Gefälle entweder das überschlächtige Rad oder das Rad mit Coulisseneinlauf zweckmässiger ist. Ist nämlich das Gefälle grösser, als 2.5^m und die Wassermenge kleiner als ungefähr 0.3 Kub. M., so ist das überschlächtige Rad die am wenigsten kostspielige Anordnung. Ist das Gefälle grösser als 2.5^m und die Wassermenge grösser als 0.3^m, so muss man das Rad mit Coulisseneinlauf jenem mit freiem Ueberfall vorziehen, weil dann bei diesem letzteren der Halbmesser des Rades sehr gross gemacht werden müsste, wo hingegen bei Anwendung von Coulissen das Rad viel kleiner gehalten werden kann.

Die Grenzen für das Gebiet des Schaufelrades mit Coulisseneinlauf sind für das Gefälle 2.5^m bis 4.5^m für die Wassermenge 0.3 bis 2.4 Kub. M. Dem Mittelpunkt des Gebietes entspricht ein Gefälle von ungefähr 3.5^m und eine Wassermenge von 1.2 Kub. M.

Die unterste Grenze für die Wassermenge ist durch den Umstand bestimmt worden, dass für Wassermengen unter 0.3 Kub. M. bei Gefällen über 2.5^m bereits das sehr wohlfeile überschlächtige Rad angewendet werden kann. Die äusserste Gefällsgrenze ist nicht über 4.5^m angenommen worden, weil von da an das rückschlächtige Zellenrad vortheilhafter zu werden beginnt, als das Schaufelrad.

Das Gebiet des rückschlächtigen Rades liegt zwischen dem Gebiete des vorher-

gehenden Rades und jenem des überschlächtigen. Die Gefällgrenzen sind ungefähr 2.5 und 8^m, die Grenzen der Wassermenge 0.4 bis 1.3 Kub. M. Dem Mittelpunkte des Gebietes entspricht ein Gefälle von 5.5^m und eine Wassermenge von 0.8 Kub. M. Für Wasserkräfte, welche in dieses Gebiet fallen, ist das Schaufelrad mit Coulisseneinlauf nicht anwendbar, weil bei demselben der Wasserverlust durch den Spielraum zwischen den Schaufelkanten und dem Gerinne zu gross ausfällt und das überschlächtige Wasserrad ist hier nicht zu empfehlen, 1) weil es nicht ventilirt werden kann, was bei grösseren Wasserquantitäten ein bedeutender Uebelstand ist, 2) weil gewöhnlich bei grösserem Wasserzufluss der Wasserstand im oberen Kanale veränderlich ist, was sich mit der Anwendung eines überschlächtigen Rades nicht verträgt.

Das Gebiet des überschlächtigen Rades hat hinsichtlich des Gefalles eine sehr grosse Ausdehnung erhalten. Diese Anordnung ist im Allgemeinen wohlfeiler, als jede andere und gibt, wenn das Gefälle nur nicht zu klein ist, immer einen guten Effekt; es ist daher in jeder Hinsicht Grund vorhanden, das Gebiet seiner Anwendbarkeit möglichst auszudehnen. Die Gefällsgrenze beginnt schon bei 2.5^m und erstreckt sich bis zu 12^m. Die Grenzen der Wassermenge sind 0.3 und 0.8 Kub. M. Es ist schon oben gesagt worden, weshalb das überschlächtige Rad im Allgemeinen für grosse Wassermengen nicht zu empfehlen ist.

Die Linie AB für die grösste absolute Wasserkraft, welche noch mit einem Rade nutzbringend gemacht werden kann, bezieht sich auf 80 absolute Pferdekraft. Für Wasserkräfte über 80 Pferdekraft fallen die Dimensionen der Räder immer so kolossal aus, dass es in diesem übrigens nur ausnahmsweise vorkommenden Falle immer zweckmässiger ist, zwei Räder anzuwenden. Uebrigens versteht es sich von selbst, dass man auch in dem Falle zwei oder mehrere Räder statt einem bauen wird, wenn ein System von Arbeitsmaschinen zu betreiben ist, die nicht gut miteinander arbeiten können, wie diess z. B. in Eisenwerken der Fall ist.

Für die Wasserkräfte, welche den Grenzlinien der Kraftgebiete entsprechen, hat man unter 2 oder 3 Rädern zu wählen. Für die Wasserkraft der Grenzlinie zwischen dem Gebiete des überschlächtigen Rades und den Gebieten des Ueberfall- und Kübelrades mit Coulisseneinlauf ist das erstere dieser Räder eine wohlfeilere Anordnung, die beiden letzteren sind aber hinsichtlich des Nutzeffektes besser. Für die Wasserkräfte, welche den übrigen Grenzlinien entsprechen, ist es dagegen in jeder Hinsicht ziemlich gleichgültig, welches von den diesen Grenzen zugehörigen Rädern man auswählt.

Sowohl die sehr kleinen, als auch die sehr grossen Gefälle sind in der Regel für die Einrichtung eines Wassertriebwerkes nicht so vortheilhaft, als die mittleren Gefälle. Bei kleinen Gefällen bis zu 2^m sind gewöhnlich die Wasserquantitäten sehr gross, der ganze Bau und insbesondere die Kanalleitung wird daher voluminös und kostspielig und die Nutzeffekte sind in diesem Falle nicht sehr günstig. Bei grossem Gefälle über 6^m wird das Rad sehr gross, erhält einen langsamen Gang, wodurch oft mehrere kostspielige und krafterschöpfende Räderübersetzungen nothwendig werden und die Herstellung eines hohen Zuleitungskanals ist auch in der Regel mit mancherlei Kosten und Schwierigkeiten verbunden. Mittlere Gefälle von 2 bis 4^m geben gewöhnlich für kleinere Triebkräfte bis

zu 16 Pferden und Gefälle von 3 bis 6^m für grössere Triebkraft über 16 Pferde die zweckmässigste Einrichtung. Die Wasserleitungen werden bei diesen Gefällen weder sehr lang noch sehr hoch, noch sehr weit, fallen daher in jeder Hinsicht günstig aus, und die Wasserräder erhalten eine mässige Grösse, ziemlich schnellen Gang und geben einen guten Effekt. Wenn man also zwischen mehreren Wasserkräften auswählen kann, wird man in der Regel den mittleren Gefällen von 3 bis 6^m den Vorzug geben müssen.

Umfangsgeschwindigkeit v der Räder.

Bei dem unterschlächtigen und Poncelet'schen Rade wird die vortheilhafteste Umfangsgeschwindigkeit durch das Gefälle bestimmt; bei den übrigen Rädern ist sie dagegen unabhängig vom Gefälle, und kann ohne Nachtheil ziemlich constant angenommen werden.

Wenn bei dem unterschlächtigen Rade keine Wasserverluste vorkämen, wäre die vorteilhafteste Umfangsgeschwindigkeit halb so gross, als die Geschwindigkeit des ankommenden Wassers, wegen dieser Wasserverluste fällt sie aber kleiner aus und beträgt nur 0.35 bis 0.4 von der Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser ankommt.

Bei den Schaufelrädern mit Kreisgerinnen richtet sich streng genommen die vortheilhafteste Geschwindigkeit nach der Genauigkeit ihrer Ausführung. Wenn der Spielraum zwischen den Schaufelkanten und dem Gerinne sehr klein ist, ist es vortheilhaft, das Rad sehr langsam gehen zu lassen, ist dieser Spielraum gross, so ist ein schneller Gang des Rades besser. Wenn die Räder und die Gerinne immer vollkommen rund und concentrisch bleiben würden, könnte man diesen Spielraum sehr klein halten, z. B. 0.01 bis 0.015^m, weil aber diess nicht der Fall ist, so muss man schon von vornherein daran denken, dass durch die mit der Zeit unvermeidlich eintretenden Formveränderungen kein Anstreifen der Schaufelkanten an das Gerinne eintritt; man muss daher jenen Spielraum 0.02^m annehmen, wodurch wegen des Entweichens von Wasser ein Effektverlust von 10 bis 14 Prozent entsteht. Die vortheilhafteste Umfangsgeschwindigkeit ist für diesen Spielraum ungefähr 1.2^m, es entsteht aber für den Effekt gar kein merklicher Nachtheil, wenn man sie, um einen etwas schnelleren Gang des Rades zu erhalten, etwas grösser annimmt; insbesondere gilt dies für Räder mit Coulisseneinlauf, weil bei diesen das Schlagen der Schaufeln gegen das Wasser bei ihrem Eintritt in den Strahl durch die Stellung der Coulissen beseitigt werden kann. Wir können daher nehmen:

für das Kropfrad	$v = 1,2$
„ „ Ueberfallrad	$v = 1,4$
„ „ Coulissenrad	$v = 1,6$

Bei dem rückschlächtigen Zellenrad mit Coulisseneinlauf ist der durch das Entweichen des Wassers entstehende Effektverlust bedeutend kleiner als bei den Schaufelrädern, in dieser Hinsicht könnte allerdings bei jenem Rade die Umfangsgeschwindigkeit kleiner angenommen werden, als bei diesen Rädern. Allein der Vortheil, der dadurch hinsichtlich des Effektes erreicht werden kann, ist von keiner Bedeutung, und wird durch

den Nachtheil aufgehoben, dass unter sonst gleichen Umständen durch eine kleine Geschwindigkeit Breite und Tiefe des Rades grösser ausfallen, wodurch die Kosten des Baues vermehrt werden. Wir dürfen daher auch für das rückschlächtige Zellenrad mit Coulisseneinlauf $v = 1.5^m$ annehmen.

Für das oberschlächtige Rad ist die für den Nutzeffekt vortheilhafteste Umfangsgeschwindigkeit äusserst klein; aber gleichwohl ist es auch hier wiederum zweckmässiger, sie grösser anzunehmen, weil dadurch der Effekt nicht merklich, die Kosten des Rades aber bedeutend vermindert werden; denn wenn das Rad sehr langsam geht, muss es breit und tief gemacht werden, um die Wassermenge fassen zu können.

Die numerischen Rechnungen zeigen, dass die Nutzeffekte überschlächtiger Räder immer noch ganz günstig ausfallen, wenn man nimmt

bei überschlächtigen Rädern für kleinere Gefälle $v = 1.3$ bis 1.5^m

„ „ „ „ grössere „ $v = 1.5$.

Die Halbmesser der Räder.

Bei dem überschlächtigen Rade wird der Halbmesser durch das Gefälle bestimmt, bei den übrigen Rädern sollte der Halbmesser hinsichtlich des Effektes möglichst gross genommen werden.

Ein grosser Halbmesser ist vorthailhaft

a) bei dem unterschlächtigen Rade, weil dann die Schaufeln vom Eintritt an bis zum Austritt fast eine vertikale Stellung haben können.

b) Bei dem Kropfrade, Ueberfallrade und bei den zwei Coulissenrädern, weil, wenn der Halbmesser gross ist, das Wasser immer nur wenig aus der Richtung seiner Bewegung im Zuleitungskanal abgelenkt zu werden braucht, um unter einem ziemlich kleinen Winkel gegen den Umfang des Rades anzukommen.

Obleich es aber einerseits keinem Zweifel unterliegt, dass mit der Grösse des Halbmessers der Nutzeffekt fortwährend wächst, so ist anderseits auch leicht einzusehen, und die genauen theoretischen Untersuchungen haben es auch gezeigt, dass die Zunahme des Effektes mit der Vergrösserung des Halbmessers nur höchst unbedeutend ist, so wie einmal der Halbmesser eine gewisse Grösse erreicht hat. Da überdies die Kosten eines Rades mit dem Halbmesser ungefähr proportional zunehmen, so muss man, um eine, sowohl hinsichtlich des Effektes, als auch hinsichtlich der Kosten vortheilhafte Konstruktion zu erhalten, die kleinsten Halbmesser wählen, mit welchen bereits eine gute Wirkung hervorgebracht werden kann.

Die Halbmesser, welche bei den besser ausgeführten Rädern angetroffen werden, erfüllen diese Bedingung, was durch numerische Berechnungen derjenigen Glieder in den Ausdrücken für den Effekt, welche von dem Halbmesser der Räder abhängen, bewiesen werden kann; wir können uns daher zur Aufstellung von Regeln für den Halbmesser der Räder an die Erfahrung halten.

Die unterschlächtigen Räder haben je nach der Grösse des Effektes, welche sie

entwickeln, und je nachdem die Lokalitätsverhältnisse sind, Halbmesser von 2^m, 3^m bis 4^m.

Für den Halbmesser aller übrigen Räder kann man den allgemeinen Ausdruck aufstellen:

$$R = \frac{H + t - \frac{v^2}{2g}}{1 - \cos \gamma}$$

wobei t die Tauchung der Schaufeln im Unterwasser bedeutet.

Wenn aber diese Formel praktisch brauchbare Werthe von R liefern soll, muss man für $t = \frac{v^2}{2g}$ und insbesondere für γ solche Annahmen machen, dass die Werthe von R ungefähr so gross ausfallen, wie man es für die Ausführung wünschen muss; diese Formel ist daher zur Bestimmung von R von keinem praktischen Werthe, und es ist zweckmässiger, sie gar nicht zu gebrauchen, und lieber gleich den Halbmesser R so anzunehmen, wie man sie haben will. Folgende empirische Regeln, welche aus der Vergleichung der ausgeführten Räder entstanden sind, führen am einfachsten zum Ziele.

Für das Kropfrad nehmen wir:

$$R = 1.5 H \text{ bis } 2.5 H$$

Für das Ueberfallrad

$$R = 1.25 H \text{ bis } 1.5 H$$

Für das Schaufelrad mit Coulisseneinlauf

$$R \text{ ungefähr} = H$$

Für das rückschlächlige Rad

$$R = \frac{2}{3} H$$

Nach dieser letzten Regel ist der Punkt, in welchem die Verlängerung des Wasserspiegels im Zuflusskanal dem Umfang des Rades begegnet, um 60° vom Scheitel des Rades entfernt. Man findet zwar auch rückschlächlige Räder, bei welchen diese Entfernung kleiner als 60° ist, allein wenn dieser Winkel so klein genommen wird, ist es rein unmöglich, den Coulisseneinlauf gut zu construiren, weil dann das Wasser zu stark von der Richtung, die es im Zuflusskanal verfolgt, abgelenkt werden muss, um in die Zellen zu gelangen, ohne von den äusseren Wänden derselben geschlagen zu werden.

Für das überschlächtige Rad hat man, wenn dasselbe die Oberfläche des Wassers im Abflusskanal im tiefsten Punkt berührt:

$$R = \frac{1}{2} \left(H - \frac{v^2}{2g} \right)$$

Weil das überschlächtige Rad nicht ventilirt werden kann, so muss man dafür sorgen, dass die Luft, welche in den Zellen vor ihrer Füllung enthalten ist, während der Füllung durch den Schluck der Zellen entweichen kann, was nur dann möglich ist, wenn die Dicke des eintretenden Strahls kleiner ist als die Schluckweite. Wenn man die Geschwindigkeit $v = 2v$, demnach doppelt so gross annimmt, als die Umfangsgeschwindigkeit, und wenn man für die Breite des Rades und für den Zellenbau die später folgenden Regeln befolgt, so fällt die Dicke des Strahles nahe halb so gross aus, als die Schluckweite; es bleibt also dann für das Entweichen der Luft hinreichend freier Raum übrig. Für diese Geschwindigkeit $v = 2v$ fällt allerdings das Stossgefälle ziemlich gross aus, allein der Nachtheil, welcher dadurch entsteht, ist doch nicht so gross, als wenn das Wasser verhindert wird, in das Rad einzutreten. Wir nehmen also $v = 2v$ und erhalten dann:

$$R = \frac{1}{2} \left(H - \frac{v^2}{2g} \right) \left(1 - \frac{v^2}{2g} \right)$$

Breite b und Tiefe a der Räder.

Diese beiden Dimensionen sind von besonderer Wichtigkeit, weil von denselben sowohl der Nutzeffekt als auch die Baukosten des Rades sammt Gerinne abhängen. Es ist zunächst klar, dass das Rad hinreichend geräumig sein muss, um die Wassermenge fassen zu können, welche auf dasselbe in 1 Sekunde zu wirken hat. Nun ist die Wassermenge, welche ein Schaufel- oder Zellenraum aufzunehmen hat, $Q \frac{a}{v}$ und das Volumen eines solchen Raumes ist abe , wenn also das Rad die Wassermenge Q soll fassen können, muss sein: $abe > Q \frac{a}{v}$ oder:

$$abv > Q$$

d. h., der Raum, welchen eine Schaufel oder Zelle in einer Sekunde beschreibt, muss grösser sein, als das Wasservolumen, welches in 1 Sekunde auf das Rad wirken soll. Setzen wir:

$$abv = mQ$$

so bedeutet m die Zahl, welche angibt, um wie viel mal der Raum, welchen eine Schaufel in 1 Sekunde beschreibt, grösser ist, als das Volumen der Wassermenge, welche in 1 Sekunde auf das Rad wirkt; auch bedeutet m die Zahl, welche angibt, um wie viel mal ein Zellen- oder Schaufelraum grösser ist, als das Wasservolumen, welches in einen solchen Raum eintritt, wir wollen desshalb m den Füllungscoefficienten nennen; ist derselbe bekannt, so gibt die letzte Gleichung zwar den Werth des Produktes ab , die Grössen a und b selbst aber nicht, sondern es ist hiezu noch eine zweite Gleichung oder Beziehung nothwendig.

Was die Werthe von m anbelangt, so sind diese für jedes Rad besonders zu bestimmen. Bei allen Schaufelrädern der älteren Art darf man in der Regel $m = 2$ nehmen, so dass die Schaufelräume zur Hälfte mit Wasser gefüllt werden. Eine schwächere

Füllung anzunehmen, ist bei diesen Rädern nicht gut, weil sie dann breiter ausfallen und dadurch einen grösseren Wasserverlust durch den Spielraum zwischen den Schaufelkanten und dem Gerinne verursachen. Eine stärkere Füllung ist auch nicht gut, weil dann leicht durch die Luftspalten eine beträchtliche Wassermenge entweicht.

Bei den Kübelrädern kann man dagegen eine schwache Füllung annehmen, weil sie dann das Wasser erst tief unten entleeren, was natürlich für den Effekt vortheilhaft ist. Wir nehmen daher für diese Räder $m = 3$ bis $m = 4$, so dass also die Zellen nur bis auf $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ ihres Raumes mit Wasser erfüllt werden.

Nun müssen wir noch eine neue Beziehung zwischen den in obiger Gleichung enthaltenen Grössen ausfindig zu machen suchen, um a und b bestimmen zu können.

Die Vergleichung der Dimensionen der ausgeführten Räder mit den Wassermengen zeigt, dass bei den Schaufelrädern die Breite für jeden Kubikmeter Wasserzufluss, im Mittel genommen, 2^m bis 2.5 und bei Kübelrädern 5 bis 5.5^m beträgt. Dies sind aber, nur mittlere Werthe, welche nicht gut gebraucht werden können, um darnach die Dimensionen von grossen und kleinen Rädern zu bestimmen; indem nach dieser Regel die Tiefe a bei allen Schaufelrädern, so wie auch bei allen Kübelrädern gleich gross ausfiele, was offenbar unzulässig ist.

Eine andere Vergleichung zwischen jenen Rädern hat mich auf die Vermuthung gebracht, dass das Verhältniss $\frac{b}{a}$ in einer gewissen Beziehung stehen dürfte zu dem in Pferdekräften ausgedrückten absoluten Effekt der Wasserkraft N_a .

Um diese Vermuthung zu prüfen, und wenn sie sich bestätigen sollte, die Abhängigkeit zwischen $\frac{b}{a}$ und N_a ausfindig zu machen, habe ich die Werthe von N_a als Abscissen und die correspondirenden Werthe von $\frac{b}{a}$ als Ordinaten aufgetragen. Die auf diese Weise bestimmten Punkte stellten sich als zwei Reihenfolgen dar, die eine den Schaufelrädern, die andere den Kübelrädern angehört, und die mittleren durch diese Reihenfolgen gezogenen krummen Linien stimmten sehr nahe mit zwei kubischen Parabeln überein.

Für die Parabel, welche den Schaufelrädern angehört, ist:

$$\frac{b}{a} = 1.75 \sqrt[3]{N_a}$$

Für die Parabel, welche den Kübelrädern angehört:

$$\frac{b}{a} = 2.25 \sqrt[3]{N_a}$$

Diese empirischen Formeln in Verbindung mit dem früher aufgefundenen Resultate, geben uns nun zur Bestimmung von a und b für die älteren Räder folgende Regeln:

Um für ein Schaufelrad b und a zu finden, berechne man zuerst das Verhältniss:

$$\frac{b}{a} = 1.75 \sqrt[3]{N_a}$$

dann findet man:

$$b = \sqrt{\frac{m Q}{v} \left(\frac{b}{a} \right)}$$

wobei in der Regel $m = 2$ und v so zu nehmen ist, wie früher erklärt wurde. Dividirt man dann diesen Werth von b durch den berechneten Werth von $\frac{b}{a}$ so erhält man auch a .

Zur Bestimmung von a und b für ein Kübelrad berechne man

$$\frac{b}{a} = 2.25 \sqrt[3]{N_a}$$

und dann findet man:

$$b = \sqrt{\frac{m Q}{v} \left(\frac{b}{a} \right)}$$

wobei $m = 3$ bis 4 zu setzen ist, und dann findet man auch a wie bei den Schaufelrädern.

Anzahl und Form der Schaufeln und Zellen.

Eine grosse Anzahl von Schaufeln oder Zellen ist für alle Räder vortheilhaft.

Bei dem unterschlächtigen Rade hängt von der Anzahl der Schaufeln die Wassermenge ab, welche zwischen den Schaufeln entweicht, ohne irgend eine Wirkung hervorzubringen. Auch die Wassermenge, welche unter dem Rade durch den Spielraum zwischen den Schaufelkanten und dem Gerinne entweicht, richtet sich zum Theil nach der Schaufeltheilung. Diese Wasserverluste vermindern aber bei etwas grosser Schaufeltheilung den Nutzeffekt so bedeutend, dass es sehr wichtig ist, die Theilung nicht zu gross anzunehmen. Man kann zwar diesen Verlusten durch eine gewisse Construction des Gerinnes theilweise begegnen, eine enge Schaufelung ist aber doch immer das beste Mittel gegen diesen Uebelstand.

Bei dem Kropfrad, Uebertallrad, Coulissenrad und rückschlächtigen Rade sind zwei wichtige Gründe vorhanden, welche für eine enge Theilung sprechen: 1) wird durch eine enge Schaufeltheilung der Wasserverlust vermindert, welcher durch den Spielraum zwischen den Schaufeln und dem Gerinne stattfindet und 2) wird dadurch das Stossgefälle vermindert. Die Effektverluste, welche aus diesen zwei Gründen entstehen, werden bei einer grossen Schaufeltheilung sehr bedeutend, es unterliegt also keinem Zweifel, dass bei diesen Rädern eine enge Theilung gut ist.

Bei dem overschlächtigen Rade hat zwar die Schaufeltheilung nur einen sehr geringen Einfluss auf den Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers in das Rad entsteht (es ist sogar in dieser Hinsicht eine grössere Theilung gut, weil dann der Schluck weit wird, so dass die Luft leicht entweichen kann), allein wenn die Theilung gross ist, beginnt die Entleerung der Zellen viel früher, als wenn sie klein ist, es ist also auch bei diesem Rade eine enge Theilung für einen guten Effekt nothwendig.

Es gilt also für alle Räder ohne Ausnahme der Grundsatz, dass die Schaufeltheilung möglichst klein sein soll. Der Verwirklichung desselben stehen aber praktische Schwierigkeiten im Wege. Räder mit Blechschaufeln werden dann theils wegen des grossen Materialaufwandes, theils wegen der vielen Verbindungen kostspielig. Bei hölzernen Schaufelrädern werden die Radkränze, wenn eine grosse Anzahl Schaufeln genommen wird, durch die vielen Schaufelarme, welche in die Kränze eingesetzt sein müssen, zu

sehr geschwächt. Bei den Kübelrädern, sie mögen nun von Holz oder von Eisen construirt sein, wird gewöhnlich, selbst wenn man eine ziemlich grosse Theilung annimmt, die Anzahl der Schaufeln so gross, dass ihre Ausführung ungemein viele Arbeit verursacht, und überdiess kann man bei diesen Rädern durch hinreichende Breite und geringe Füllung den Zweck, um den es sich hier handelt, besser erreichen, als durch eine übermässig grosse Schaufelzahl, weil durch diese die Schluckweite zu eng ausfällt. Nur bei den eisernen Schaufelrädern ist keine wesentliche Schwierigkeit für die Anwendung einer grossen Anzahl Schaufeln vorhanden, weil da die Schaufelarme an die Kränze angegossen und die Schaufeln selbst von Holz gemacht werden.

In Erwägung dieser Umstände muss man den früher ausgesprochenen Grundsatz dahin modificiren, dass die Anzahl der Schaufeln so gross genommen werden soll, als es die Constructionsverhältnisse einerseits, und die ökonomischen Rücksichten anderseits gestatten.

Durch eine Vergleichung der ausgeführten Räder hinsichtlich der Schaufeltheilung habe ich für diese Grösse folgende praktische Formel gefunden:

$$e = 0.2 + 0.7 a$$

und nach dieser sind auch die Schaufeltheilungen bei den auf den grossen Tafeln dargestellten Rädern bestimmt worden, aus welchen man ihre praktische Brauchbarkeit erkennen wird.

Nimmt man diese Regel an, so ergibt sich die für die Ausführung geeignete Anzahl der Schaufeln, indem man den Quotienten

$$\frac{2 R \pi}{0.2 + 0.7 a}$$

berechnet und die demselben nächst ganze durch die Anzahl der Radarme eines Armsystems theilbare Zahl annimmt. Diese Anzahl der Radarme ist aber, wie später gezeigt werden wird,

$$2 (1 + R)$$

Form und Stellung der Schaufeln bei dem unterschlächtigen Rade.

Gewöhnlich werden bei diesem Rade ebene, radial gestellte Schaufeln angewendet, wodurch insbesondere bei hölzernen Rädern die Ausführung sehr vereinfacht wird. Diese Anordnung der Schaufeln ist aber aus zwei Ursachen für den Nutzeffekt nicht vorthellhaft, denn 1) wirkt dann das Wasser rein nur durch Stoss, indem es senkrecht gegen die Schaufeln hinschlägt, und 2) werfen radial gestellte Schaufeln bei ihrem Austritt Wasser in die Höhe. Diese beiden Uebelstände können wenigstens theilweise beseitigt werden, wenn ebene aber gegen den Radius in der Art geneigte Schaufeln angewendet werden, dass sie beim Austritt oder erst nach demselben eine vertikale Stellung haben. Bei solchen Schaufeln wirkt das Wasser beim Eintritt in das Rad nur theilweise durch Stoss, nämlich mit der gegen die Schaufel senkrechten relativen Geschwindigkeit; dagegen gleitet es mit der zur Schaufel parallel relativen Geschwindigkeit an derselben hinauf,

bis es diese Geschwindigkeit verloren hat, gleitet dann wiederum nieder und erreicht das untere Ende mit einer absoluten Geschwindigkeit, welche die resultirende ist 1) aus der relativen Geschwindigkeit, mit welcher es nach dem Herabgleiten das äussere Ende der Schaufel erreicht, 2) aus der Umfangsgeschwindigkeit des Rades. Während des Auf- und Abgleitens wirkt das Wasser rein nur durch Druck, wie bei dem Poncelet-Rade, und es ist bei der strengen Theorie dieses Rades nachgewiesen worden, dass die Summe der Wirkungen, die das Wasser durch den partiellen Stoss und durch den darauf folgenden, während des Auf- und Niedergleitens anhaltenden, Druck hervorbringt, grösser ist, als diejenige, welche durch einen totalen Stoss gegen radial gestellte Schaufeln hervorgebracht wird. Dass diese ebenen, schief gestellten Schaufeln bei ihrem Austritt kein Wasser in die Höhe werfen, ist für sich klar.

Man könnte vielleicht meinen, dass man durch solche ebenen Schaufeln, wenn man sie so schief stellte, dass das Wasser ohne Stoss in dieselben eintreten würde, ganz die gleiche Wirkung hervorbringen könnte, wie bei dem Poncelet'schen Rade durch die cylindrisch gekrümmten Schaufeln. Bei genauer Betrachtung zeigt sich aber, dass zwei Gründe vorhanden sind, wesshalb schiefgestellte ebene Schaufeln nicht eine eben so gute Wirkung hervorbringen können, als zweckmässig gekrümmte Schaufeln. Der eine Grund liegt in dem Umstande, dass die Schaufelräume bei stark gegen den Radius geneigten Schaufeln nach innen zu keilförmig verengt werden, also eine Form erhalten, die gerade das Gegentheil ist von derjenigen Form, welche die in einen Schaufelraum eintretende Wassermenge anzunehmen sucht; denn diese letztere ist ebenfalls ein Keil, aber mit einer nach unten gerichteten Spitze. Das Wasser würde also beim Aufwärtsgleiten zuletzt gegen die beiden Schaufeln, welche einen Schaufelraum bilden, anschlagen und dabei an Geschwindigkeit verlieren, ohne dass eine nützliche Wirkung entstünde, indem die der Richtung nach einander sehr nahe entgegengesetzten und ihrer Intensität nach gleich starken Schläge gegen die beiden Schaufeln sich aufheben. Der zweite Grund liegt in dem Umstande, dass bei ebenen, stark gegen den Radius geneigten Schaufeln die Zeit einer vollständigen Auf- und Nieder- Oscillation eines Wassertheilchens grösser ausfallen würde, als die Zeit von dem Eintritt einer Schaufel bis zu ihrem Austritt; die Wassertheilchen würden also das äussere Ende der Schaufel erst dann erreichen, nachdem dieselbe bereits aus dem Wasser getreten wäre, was einen Gefällsverlust zur Folge hätte.

Diese beiden so eben angedeuteten Uebelstände würden allerdings durch einen sehr grossen Halbmesser des Rades grösstentheils beseitigt werden können, allein dieses Mittel ist nicht zulässig, indem es zu einer kostspieligen Construction führt, man kann also mit einem Rade, das einen mässig grossen Halbmesser und schiefgestellte ebene Schaufeln hat, nicht einen eben so günstigen Effekt hervorbringen, als mit einem Poncelet-Rade, allein desshalb ist kein Grund vorhanden, die erstere Anordnung ganz zu verwerfen, denn wenn man den ebenen Schaufeln gegen den Radius des Rades eine mittlere Neigung von ungefähr 45° gibt, tritt das Wasser nur mit schwachem Stosse ein, die Schaufelräume werden nun nicht zu eng, und die Oscillationszeit fällt nicht zu gross aus; man darf also bei dieser Stellung der Schaufeln gewiss einen merklich

bessern Effekt erwarten, als bei dem unterschlächtigen Rade mit radial gestellten Schaufeln.

Form und Stellung der Schaufeln bei den mittelschlächtigen Rädern.

Bei diesen Rädern haben die Schaufeln die Bestimmung, das in sie hereinstürzende Wasser aufzufangen und ihm seine relative Geschwindigkeit gegen die Schaufeln zu entziehen. Für den Eintritt des Wassers in das Rad ist es also ziemlich gleichgültig, wie die Schaufeln geformt sind, nur dürfen sie dem Eintritt nicht hinderlich und nicht sackförmig sein, weil sonst das Wasser zu tief hinabstösst, was zur Folge hat, dass der Theil des Gefälles, durch welchen das Wasser durch sein Gewicht wirkt, vermindert wird. Hinsichtlich des Eintritts würden also ebene, radial gestellte Schaufeln ganz dem Zweck entsprechend sein. Weil aber die Schaufeln im Unterwasser so tief tauchen sollen, dass der Wasserspiegel in dem untersten Schaufelraume und im Abzugskanal gleich hoch stehen, so ist es gut, wenn der äussere Theil der Schaufeln nicht radial, sondern in der Art schief gestellt wird, dass derselbe bei dem Austritt eine vertikale Stellung hat.

Hiernach ergibt sich nun für die Verzeichnung solcher Schaufeln folgende Regel:

Man mache Figur 38 $AC = \frac{1}{4} AB = \frac{1}{4} a$, $AD = \frac{1}{2} AB = \frac{1}{2} a$, ziehe durch D eine Horizontallinie DE und durch C den mit dem äusseren Umfang des Rades concentrischen Kreisbogen CE, sodann ziehe man durch E die Vertikallinie EF und die radiale Linie EG, so ist FEG die Form und Stellung einer Schaufel. Zur Verzeichnung aller übrigen Schaufeln ist es bequem, wenn man sich des Kreises K bedient, an welchen die Verlängerungen der äusseren Theile aller Schaufeln tangiren müssen. Die Verzeichnung der übrigen Schaufeln bedarf sonst keiner weiteren Erklärung.

Damit das Wasser ungehindert in den Schaufelraum eintreten kann, ist es aber noch nothwendig, dass im Boden des Rades für jeden Schaufelraum eine Spalte angebracht wird, durch welche die Luft entweichen kann, während das Wasser eintritt. So wie nämlich die nachfolgende von den beiden Schaufeln, welche einen Schaufelraum bilden, in den Wasserstrahl eingetreten ist, kann aus diesem Schaufelraum am äusseren Umfang des Rades keine Luft mehr entweichen; ist also im Radboden keine Luftspalte vorhanden, so wird die eingesperrte Luft comprimirt, wodurch sie, so wie die Füllung allmähig zunimmt, das Einströmen des Wassers immer mehr und mehr verhindert und sogar, wenn der Wasserstrahl eine bedeutende Dicke hat, ganz aufhebt; denn wenn die Luft nur um $\frac{1}{10}$ comprimirt wird, kann sie bereits einer Wassersäule von 1^m Höhe das Gleichgewicht halten; das Einströmen hört also dann schon auf. Eine Ventilation der Schaufelräume ist um so nothwendiger, je kleiner die Schaufeltheilung ist im Vergleich mit der auf dem Umfange des Rades gemessenen Dicke des Strahls, denn wenn die Schaufeltheilung sehr gross ist im Vergleich zur Dicke des Strahls, dauert die Absperrung des Schaufelraums durch den Strahl nur sehr kurze Zeit, findet aber das Gegentheil statt, so dauert diese Absperrung verhältnissmässig sehr lange. Man sieht also, dass eine enge Schaufel-

theilung nur dann die Vortheile gewährt, von welchen früher die Rede war, wenn die Schaufelräume ventilirt, d. h. mit Luftspalten versehen werden. Uebrigens muss die Ventilation noch so angeordnet werden, dass durch dieselbe kein Wasser entweichen kann.

Form und Stellung der Zellen bei einem rückschlächtigen Rade.

Bei den Zellen der rückschlächtigen Räder darf der Winkel, unter welchem die äussere Zellenwand den äusseren Umfang des Rades durchschneidet, nicht zu klein sein, weil sonst die Winkel, unter welchen die Coulissen dem Umfang des Rades begegnen müssen, damit das Wasser, ohne gegen die Wände zu schlagen, in die Zellen eintreten kann, gar zu klein ausfällt, wodurch die zwei Nachtheile entstehen, dass 1) das Wasser sehr stark aus der horizontalen Richtung seiner Bewegung im Zuflusskanal abgelenkt werden muss, um die Richtung der Coulissen anzunehmen, und dass 2) die auf den Umfang gemessene Dicke des eintretenden Wasserstrahles, folglich auch das Stossgefälle, sehr gross ausfällt.

Wird der Winkel β etwas gross angenommen, so beginnt zwar die Entleerung der Zellen etwas früher, als wenn der Winkel β klein ist, allein der Nachtheil, welcher hierdurch entstehen würde, kann durch eine schwache Füllung der Zellen und insbesondere durch Anwendung eines Kreisgerinnes ganz beseitigt werden. In der Voraussetzung, dass man das Rad nicht mehr als bis $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ füllt, und dass ein Kreisgerinne angewendet wird, kann man bei einem grösseren Rade mit hölzernen Zellen die Konstruktion Fig. 39, bei einem kleinen Rade mit hölzernen Zellen die Konstruktion Fig. 40, endlich bei einem Rade mit Blechschaufeln die Konstruktion Fig. 41 mit Vortheil anwenden.

In diesen drei Figuren ist AB der äussere, A₁B₁ der innere Umfang des Rades, $\alpha\alpha$ ist ein Hilfskreis, welcher von den beiden andern Kreisen gleich weit absteht, cc ist die Schaufeltheilung. Sind diese drei Kreise verzeichnet, und ist auf dem äusseren die Schaufeltheilung gemacht, so verbindet man die Theilungspunkte cc₁ mit dem Mittelpunkt des Rades, sodann die Punkte bb₁, in welchen der mittlere Kreis geschnitten wird, mit den Theilungspunkten cc₁.

Soll das Rad hölzerne Zellenwände erhalten, und sind die Linien bc und b₁c₁ nicht auffallend convergirend, so dass die äussere und innere Weite des Schluckes nahe gleich gross ist, so ist die Anordnung, Fig. 39, mit ebenen Zellenwänden zu nehmen. Wenn dagegen die Linien bc und b₁c₁ merklich convergiren, so muss man, damit die Weite des Zellenschlucks überall nahe gleich gross ausfällt, statt der geradlinigen äusseren Wände gekrümmte Wände machen, wie Fig. 40 zeigt.

Wenn endlich die Wände aus Blech gemacht werden sollen, nimmt man statt der geradlinig gebrochenen Linie bca, b₁c₁a₁ die stetig gekrümmte Linie, welche genau auf die Punkte ac, a₁c₁ und nahe an den Punkten bb₁ vorbeigeht, wie Fig. 41 zeigt. Auch bei diesem Rade müssen die Zellen ventilirt werden, aus den gleichen Gründen, welche früher angegeben worden sind.

Form der Zellen bei dem überschlächtigen Rade.

Bei diesem Rade kann das Wasser ohne Schwierigkeit fast tangirend in das Rad geleitet werden, es ist daher hier möglich, den Winkel β , unter welchem die Zellenwände dem äusseren Umfang des Rades begegnen, kleiner zu machen, als bei dem rückschlächtigen Rade, und desshalb kann bei dem überschlächtigen Rade das kostspielige Kreisgerinne weggelassen werden. Denn wenn die Zellen nicht mehr als $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ gefüllt, wenn ferner die Zellen hinreichend tief gemacht werden, und wenn endlich der Winkel β hinreichend klein angenommen wird, beginnt die Entleerung des Rades erst sehr tief unten, so dass durch die Anwendung eines Kreisgerinnes kein merklicher Vortheil hinsichtlich des Nutzeffektes erzielt werden kann.

Um nun für überschlächtige Räder zweckmässig geformte Zellen zu erhalten, haben wir nur die früher für das rückschlächtige Rad angenommenen Konstruktionen dahin zu modifiziren, dass der Winkel β klein ausfällt, was dadurch geschieht, indem man nicht die Theilungspunkte cc des äusseren Radumfangs, sondern die Punkte dd , Fig. 42, 43, 44, welche von cc um $\frac{1}{4}$ der Schaufeltheilung absteigen, mit den Punkten b b , durch gerade oder krumme Linien verbindet. Eine nähere Erklärung der Verzeichnung dieser Zellen ist wohl nicht nöthig.

Eine Ventilation der Zellen ist bei dem überschlächtigen Rade nicht möglich, aber auch nicht notwendig, weil durch die Regeln, welche für die Breite des Rades und für die Schaufeltheilungen aufgestellt wurden, die Dicke des Wasserstrahles immer nur ungefähr halb so gross ausfällt, als die Schluckweite, so dass also neben dem in die Zellen eintretenden Wasserstrahl jederzeit freier Raum für das Entweichen der Luft vorhanden ist.

Einlauf und Gerinne.

a. Das unterschlächtige Rad.

Die Bedingungen, welche zu erfüllen sind, um eine gute Konstruktion des Gerinnes und des Einlaufes zu erhalten, sind für dieses Rad folgende: 1. soll das Wasser so viel als möglich ohne Geschwindigkeitsverlust bis an den Umfang des Rades geleitet werden; 2. soll kein Wasser zwischen den Schaufeln entweichen können, ohne auf dieselben zu wirken; 3. soll das Gerinne dazu beitragen, dass das Wasser weder zu früh noch zu spät aus dem Rade tritt; 4. soll der Wasserverlust durch den Spielraum zwischen den Schaufeln und dem Gerinne möglichst vermieden werden. Man wird der zweckmässigsten Konstruktion ziemlich nahe kommen, wenn man auf folgende Weise verfährt:

Man verzeichne Fig. 45 den äusseren Umfang des Rades, trage von dem tiefsten Punkt a aus eine Schaufeltheilung ab nach rechts und eine Schaufeltheilung cb nach links ab, und verzeichne einen mit dem äusseren Umkreis des Rades concentrischen Kreisbogen cd , welcher von dem Umfangskreis um den Spielraum von 0.015 bis 0.02m besteht. Sodann trage man von b als eine gegen den Horizont um $\frac{1}{20}$ geneigte Linie

BA und berechne die Dicke der Wasserschichte unmittelbar vor dem Rade. Da wir annehmen, dass der Punkt F in der Höhe des Wasserspiegels vom Abzugskanal liegt, so befindet er sich in einer Tiefe gleich der Gefällshöhe H unter der Oberfläche des Wassers im Zuleitungskanal; wenn wir also die Dicke jener Wasserschichte mit x und die Breite der Schützenöffnung (welche wir jedesmal um 0.1m kleiner annehmen, als die Breite des Rades) mit b_1 bezeichnen, so hat man die Gleichung:

$$Q = b_1 \cdot x \sqrt{2g \left(H + \frac{x}{2} \right)}$$

aus welcher x durch Annäherung bestimmt werden muss. Es ist übrigens auch hinreichend genau, wenn man $\frac{x}{2}$ gegen H vernachlässigt, wodurch sich ergibt:

$$x = \frac{Q}{b_1 \sqrt{2gH}}$$

Zieht man nun in dem Abstände x zu AB eine Parallele FE , so hat man die Oberfläche des Wassers unmittelbar vor dem Rade. Zieht man ferner in einer Höhe H über dem Punkt F , so wie auch durch den Punkt F selbst Horizontallinien, so bestimmen dieselben den Wasserspiegel im Zufluss- und im Abflusskanal. Zieht man endlich in der Nähe des Rades eine gegen den Horizont um 60° geneigte Linie EJ , so bestimmt diese die Stellung des Schützens, welcher auf der dem Zuflusskanale zugekehrten Seite eine für die Leitung des Wassers nach der Ausflussöffnung geeignete Abrundung erhalten soll. Dass durch diese Konstruktion die früher angegebenen Bedingungen erfüllt werden, ist wohl leicht einzusehen. Der schiefgestellte auf seiner inneren Seite gekrümmte und insbesondere an der unteren Kante abgerundete Schützen leitet das Wasser in die Ausflussöffnung, ohne dass daselbst eine Kontraktion des Strahles, noch ein Anprallen des anströmenden Wassers an die Fläche AB eintreten kann, und da überdiess die Entfernung EF ganz klein ist, so gelangt das Wasser ohne einen merklichen Verlust an Geschwindigkeit bei F an. Die schiefe Ebene AB , welche den bogenförmigen Theil BD unter einem stumpfen Winkel scheidet, leitet das Wasser über den Spielraum zwischen den Schaufeln und dem Gerinne in die Schaufelräume hinein; es kann also durch diesen Spielraum kein bedeutender Wasserverlust entstehen, was allerdings der Fall wäre, wenn die schiefe Ebene AB den bogenförmigen Theil des Gerinnes tangiren würde. Der über zwei Schaufeltheilungen sich erstreckende bogenförmige Theil des Gerinnes bewirkt nämlich, dass kein Wassertheilchen zwischen den Schaufeln in den Abflusskanal gelangen kann, ohne auf eine Schaufel gewirkt zu haben; auch verhindert dieser Theil des Gerinnes das zu frühzeitige Austreten des Wassers.

Ist der Wasserstand in den beiden Kanälen bedeutend veränderlich und soll der Nutzeffekt bei jedem Wasserstand möglichst günstig ausfallen, so muss das Rad und Gerinne mit einem Hebzeug versehen werden, durch welches die ganze Anordnung nach dem Wasserstande gestellt werden kann. Die Einrichtung eines solchen Hebzeuges wird später ausführlich beschrieben werden, es wird also vorläufig eine allgemeine Andeutung

genügen. Man denke sich die Punkte B und D durch Stangen mit dem Lager verbunden, in welchem die Zapfen der Wasserradswelle liegen und denke sich ferner, dass die schiefe Ebene A B bei A mit dem Boden des Zuleitungserinnes und bei B mit dem Bogen B D vermittelt einer Gliederung verbunden werde, so ist klar, dass wenn beide Lager der Wasserradswelle nach O₁ gehoben oder nach O₂ gesenkt werden, so kommt das gegliederte Gerinne im ersteren Falle in die Lage A B, D₁ und im letzteren Falle in die Lage A B, D₂, dabei bleibt der bogenförmige Theil immer concentrisch mit dem Radumfang und nur die schiefe Ebene ändert ihre Stellung gegen den Horizont; im Allgemeinen befindet sich aber das Rad in jeder Stellung annähernd unter den gleichen Umständen, der Nutzeffekt fällt also immer nahe gleich günstig aus.

b. Einlauf und Gerinne für das Kropfrad.

Die Anordnung eines Gerinnes für ein Kropfrad richtet sich nach der Beschaffenheit der Wasserstände im Zufluss- und im Abflusskanal und nach den Anforderungen, welche an das Rad gestellt werden.

Jene Wasserstände können unveränderlich oder sie können veränderlich sein, und von dem Rade kann entweder ein möglichst günstiger Effekt oder mit Verzichtung auf denselben ein schneller Gang, mithin eine gewisse Umfangsgeschwindigkeit gefordert werden. Die Konstruktionen des Gerinnes unterscheiden sich in den vier verschiedenen Fällen nur in der Bestimmung der Lage einzelner Punkte; es ist daher zunächst nur nothwendig, einen speziellen Fall im Detail zu behandeln, indem sich die übrigen Fälle leicht auf diesen einen Fall zurückführen lassen.

Betrachten wir zuerst den Fall, wenn die Wasserstände in den beiden Kanälen unveränderlich sind, und wenn ein möglichst günstiger Nutzeffekt verlangt wird. Das Verfahren ist dann folgendes:

Man verzeichne Fig. 46 mit dem Halbmesser R und $R + 0.015^m$ den äusseren Umkreis des Rades und die innere Krümmung B C des Gerinnes, ziehe den vertikalen Halbmesser O C, mache $CF = \frac{1}{2} a$, $FK = H$ und ziehe die Horizontallinien p F q und m n K, so sind diese die Wasserstände in den beiden Kanälen. Damit der Wasserstand über dem Scheitel A des Einlaufs nicht zu klein wird, nehme man den Punkt B, in welchem der Einlauf der Krümmung des Gerinnes begegnet, in einer Tiefe von 0.46^m unter der Oberfläche m n an, so dass das Wasser bei B mit einer Geschwindigkeit von 3^m ankommt, ziehe den Radius B O und messe den Winkel $\widehat{B O C} = \gamma$. Der Einlauf A B richtet sich nun nach dem Werthe von γ . Ist γ gleich oder kleiner als 45° , so construire man die Parabel A B so, dass sie das Gerinne in dem Punkte B berührt, in welchem Falle der Winkel δ gleich 0 und der Winkel $\gamma - \delta$ gleich γ wird. Ist hingegen γ grösser als 45° , so nehme man den Winkel $\gamma - \delta$, den die zum Punkte B der Parabel gehörige Tangente mit dem Horizont bildet, gleich 45° an. Zur Bestimmung der Position des Scheitels A der Parabel hat man allgemein:

$$\begin{aligned} \overline{BD} &= \overline{MB} \sin 2(\gamma - \delta) \\ \overline{AD} &= \overline{MB} \sin^2(\gamma - \delta) \end{aligned}$$

Wenn die Parabel bei B tangiren soll, ist $\delta = 0$ und dann wird

$$\overline{BD} = \overline{MB} \sin 2\gamma$$

$$\overline{AD} = \overline{MB} \sin^2 \gamma$$

Wenn $\gamma > 45^\circ$ ist, wird wegen $\gamma - \delta = 45^\circ$

$$\overline{BD} = \overline{MB} = 0.46^m$$

$$\overline{AD} = \frac{1}{2} \overline{MB} = 0.23^m$$

Die Position des Scheitels der Parabel und die vollständige Konstruktion derselben kann auch auf folgende Art graphisch bewerkstelligt werden.

Man verzeichne, Fig. 47, den Winkel γ B D, welchen die zu dem Punkte B der Parabel gehörige Tangente mit dem Horizont bilden soll; mache $\gamma B = B M = \frac{v^2}{2g}$, messe den Abstand $g i$ und trage ihn von B nach k auf, so ist $k l = D A$. Hierauf construire man den Winkel $\gamma B h = D B g$, mache $B h = B M$, so ist $h r = B D$. Trägt man also $h r$ von B nach D auf, und $k l$ von D nach A, so hat man den Scheitel der Parabel. Um einzelne Punkte der Parabel zu finden, verzeichne man das Rechteck A D B o, theile o A in mehrere, z. B. in vier, und o B in eben so viele gleiche Theile, verbinde die Punkte 1, 2, 3 mit A und ziehe durch I., II., III. Parallellinien mit A D, so sind m_1, m_2, m_3 die gesuchten Punkte. Um die diesen Punkten entsprechenden Krümmungshalbmesser und Mittelpunkte zu finden, mache man die Entfernung

$$1' 1'' = 2' 2'' = 3' 3'' = D 4'' = \overline{2 A n}$$

verbinde m_1 mit $1''$, m_2 mit $2''$, m_3 mit $3''$, B mit $4''$, so schneiden sich diese Linien in den Punkten IV.' III.' II.' I.', aus welchen die Kreisbögen $B m_3, m_3 m_2, m_2 m_1, m_1 A$ beschrieben werden müssen.

Ist die Parabel A B verzeichnet, so setze man sie noch etwas über A fort, und ziehe an diese Fortsetzung unten einen Winkel von ungefähr 20° eine Tangente, bis an den Boden des Zuleitungskanals.

Dem Schützen gebe man gegen den Horizont eine Neigung von 60° , und nehme seine Entfernung von dem Rade so an, dass derselbe, wenn er niedergelassen wird, den Einlauf im Scheitel A oder etwas unterhalb berührt.

Der dem Zuleitungskanal zugewendeten Fläche des Schützen gebe man eine für die Leitung des Wassers zweckmässige Krümmung, insbesondere in der Nähe der untern Kante.

Sind die Wasserstände in den beiden Kanälen unveränderlich, und soll das Rad einen schnelleren Gang erhalten, so nehme man den Punkt B in einer Tiefe $\frac{v^2}{2g}$ unter der Oberfläche m n an, und verfähre übrigens bei der Konstruktion des Gerinnes wie im vorhergehenden Falle.

Sind die Wasserstände veränderlich, so nehme man den Punkt C, Fig. 46, in einer Tiefe $\frac{1}{2} a$ unter dem mittleren Wasserstand im unteren Kanale, und den Punkt B in

einer Tiefe $4 \frac{v^2}{2g}$ unter dem niedrigsten Wasserstand des oberen Kanales an, und verfähre im Uebrigen bei der Konstruktion des Gerinnes wie im ersten Falle.

c. Gerinne und Einlauf bei dem Ueberfallrade.

Zur Bestimmung der Breite b des Rades ist schon früher, Seite 137, eine Regel angegeben worden. Die Breite b_1 des Einlaufes nimmt man immer etwas schmaler an, als die des Rades, und zwar um 0.1^m , es ist daher:

$$b_1 = b - 0.1^m$$

Aus der Breite des Einlaufes und aus der Wassermenge Q , welche in 1 Sekunde dem Rade zufließen soll, ergibt sich nun zunächst die Dicke t der Wasserschicht über dem Scheitel des Ueberfalles. Es ist nämlich nach der bekannten Formel für die Wassermenge bei Ueberfällen:

$$t = \left(\frac{Q}{0.443 b_1 \sqrt{2g}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Diesen Werth von t kann man auch aus der am Schlusse des Werkes befindlichen Tabelle III. entnehmen, wenn man die Wassermenge $\frac{Q}{b_1}$ berechnet, welche über jeden Meter Breite des Ueberfalles abfließen soll, und für diese Wassermenge die entsprechende Dicke der Schichten aufsucht.

Zur Leitung des Wassers ist es gut, wenn man die obere Kante des beweglichen Schützens mit einer Leitfläche versieht, und diese nach der Parabel AB , Fig. 48, krümmt, welche die bei A mit der Geschwindigkeit $\sqrt{2gt}$ nach horizontaler Richtung austretenden Wassertheilchen beschreiben. Um diese Parabel zu construiren, muss zunächst die Frage beantwortet werden, in welcher Entfernung von dem Umfangskreis des Rades der Scheitel A angenommen werden soll. Wird dieser Punkt dem Rade genähert, und z. B. nach A_1 verlegt, so fällt der Punkt B_1 , in welchem die Parabel dem Umfang des Rades begegnet, höher hinauf, das Stossgefälle wird dadurch kleiner, aber der Winkel, unter welchem der Strahl dem Umfang des Rades begegnet, wird grösser.

Nimmt man die Parabel in einer grösseren Entfernung, z. B. $A_2 B_2$ an, so fällt jener Punkt tiefer, nämlich nach B_2 herab, dagegen wird jener Winkel kleiner; man sieht hieraus, dass es eine gewisse Entfernung geben muss, bei welcher die Effektverluste, welche bei dem Eintritt des Wassers entstehen können, am kleinsten ausfallen, und es ist, Seite 94, bei der genauen Theorie nachgewiesen worden, dass dies dann der Fall ist, wenn bei einer Umfangsgeschwindigkeit des Rades von $v = 1.5^m$ das Wasser im Punkt B mit einer Geschwindigkeit von $v = 3^m$, ankommt; dieser Punkt B muss also in einer Tiefe $MB = \frac{v^2}{2g} = \frac{3^2}{2g} = 0.46^m$ unter dem oberen Wasserspiegel angenommen werden; und zur Bestimmung von BD folgt aus den Formeln (17) und (18), Seite 85.

$$BD = 2 \sqrt{t \left(\frac{v^2}{2g} - t \right)}$$

oder weil $v = 3$ gesetzt werden soll

$$BD = 2 \sqrt{t(0.46 - t)}$$

Die Verzeichnung des Gerinnes geschieht nun auf ganz ähnliche Weise wie bei dem Kropfrade gezeigt wurde. Man verzeichnet nämlich zuerst den Umfangskreis des Rades und die Krümmung des Gerinnes, nimmt den untern Wasserspiegel in einer Höhe $\frac{1}{2} a$ über dem tiefsten Punkt des Rades an, trägt von diesem aus das Gefälle auf, nimmt den Punkt B in einer Tiefe $\frac{v^2}{2g} = 0.46$ unter dem oberen Wasserspiegel an, berechnet hierauf vermittelst der obigen Formeln den Werth von t und von BD , trägt dieses letztere Maas von B aus nach horizontaler Richtung auf, zieht durch D eine Vertikallinie, und durchschneidet dieselbe durch eine in einer Tiefe t unter dem oberen Wasserspiegel gezogene Horizontallinie, so ergibt sich der Punkt A , d. h. der Scheitel der Parabel, deren vollständige Konstruktion nun auf die gleiche Weise ausgeführt wird, wie früher bei dem Kropfrade gezeigt wurde. Ist der Wasserstand im untern Kanale veränderlich, so muss der untere Stand in einer Höhe $\frac{1}{2} a$ über dem tiefsten Punkt des Rades genommen werden.

c. Einlauf und Gerinne für das Coulissenrad.

Hier handelt es sich vorzugsweise um die Bestimmung des Winkels δ , unter welchem die Coulissen dem Umfang des Rades begegnen sollen, ist dieser Winkel bestimmt, so ergibt sich dann die Konstruktion des Gerinnes und Einlaufes auf ähnliche Weise, wie bei den zwei vorhergehenden Anordnungen. Wird der Winkel δ zu klein angenommen, so fällt die auf den Umfang des Rades gemessene Dicke der Wasserschicht, und mithin auch das Stossgefälle gross aus, was nachtheilig ist. Wird hingegen jener Winkel gross angenommen, so schlagen die Schaufeln gegen das eintretende Wasser, drängen es zurück, und es entsteht ein schädlicher Rückstoss auf die Schaufeln. Man sieht also, dass es einen gewissen Werth von δ geben müsse, bei welchem diese Nachtheile am kleinsten ausfallen. Die genauere Theorie des Coulissenrades hat Seite 101 gezeigt, dass der vortheilhafteste Werth des Winkels δ bei einer Umfangsgeschwindigkeit des Rades von $v = 1.5^m$, 32° bis 38° und im Mittel nahe 36° betrage.

Bei einer grösseren Umfangsgeschwindigkeit des Rades fällt natürlich δ kleiner aus, da man aber in der Regel $v = 1.5$ bis $v = 1.8^m$ annehmen wird, so wird man immer den vortheilhaftesten Anordnungen sehr nahe kommen, wenn man $\delta = 36^\circ$ nimmt.

Die Verzeichnung des Gerinnes geschieht nun wiederum auf folgende Weise. Man verzeichnet den äusseren Umkreis des Rades und die Krümmung des Gerinnes, indem man den Spielraum der Schaufeln gleich 0.015 bis 0.02 annimmt. Sind die Wasserstände unveränderlich, so nehme man den unteren in einer Höhe $\frac{a}{2}$ über dem tiefsten Punkt des Rades an, und trage das Gefälle auf, so erhält man den oberen Wasserspiegel mn , Fig. 49. Nun nehme man den Punkt 1 in einer Tiefe 0.3^m unter dem oberen Spiegel an, mache $1,2 = 2,3 = 3,4 \dots = \frac{1}{3} a$, ziehe den Radius O_1 , verzeichne den Winkel $\widehat{pi1} = \delta = 36^\circ$, beschreibe aus O einen Kreis K , welcher den Schenkel $1p$ des Winkels $\widehat{pi1O}$ berührt, ziehe von den übrigen Theilungspunkten $2, 3, 4$ Tangenten nach diesem Kreise K , mache $I, II = III \dots = 0.8 a$, und beschreibe aus $I, II, III \dots$ mit dem

Halbmesser $I, = II = III \dots = 0.5$ die Kreisbögen $11, 22, 33, \dots$ so sind dies die Coulissen.

Um die erforderliche Anzahl derselben zu bestimmen, berechne man die Wassermengen, welche zwischen je zwei dieser Coulissen ausströmen können, addire die erste und zweite, dann die erste, zweite und dritte u. s. w., dann ist die erforderliche Anzahl von Coulissen diejenige, für welche die Summen der Wassermengen gleich oder grösser als Q ausfällt. Es ist aber immer zu empfehlen, eine oder zwei Coulissen mehr anzunehmen.

Sollte der obere Wasserspiegel veränderlich sein, so mache man die so eben angegebene Konstruktion für den niedrigsten Stand, und füge noch aufwärts so viele Coulissen hinzu, dass die oberste derselben den Umkreis des Gerinnes in einem Punkt schneidet, dessen Tiefe unter dem höchsten Wasserstand gleich oder kleiner als 0.3^m ist.

Um die Wassermenge zu berechnen, welche zwischen zwei Coulissen ausströmt, nehme man das Product aus folgenden Grössen: 1) aus einem Coefficienten, der gleich 0.4 gesetzt werden kann; 2) aus der äusseren Weite des Coulissenkanals, welche gleich ist der Länge des von dem Endpunkte, z. B. 2 einer Coulisse auf die nächste Coulisse 33 , gefällten Perpendikels; 3) aus der Breite des Einlaufs, welche um 0.1 kleiner als die Breite des Rades angenommen werden darf; 4) aus der Geschwindigkeit, welche der Tiefe des Mittelpunktes der Oeffnung unter dem oberen Wasserspiegel entspricht.

d. Einlauf und Gerinne für das rückschlächlige Rad.

Bei diesem Rade muss wiederum der Fall, wenn die Wasserstände unveränderlich sind, von demjenigen unterschieden werden, wenn sie veränderlich sind.

Wenn die Wasserstände unveränderlich sind, verfähre man bei der Verzeichnung des Gerinnes und des Einlaufes auf folgende Art:

Man verzeichne, Fig. 50, den äusseren und inneren Umkreis des Rades, so wie auch die in einem Abstände 0.015 bis 0.02^m mit den ersteren concentrische Krümmung des Gerinnes; nehme den unteren Wasserspiegel entweder tangirend an den tiefsten Punkt des Rades an oder in einer Höhe $\frac{a}{2}$ über diesem tiefsten Punkt. Wenn einmal das Gefälle so gross ist, dass man ein rückschlächliges Rad anwenden kann, ist es nicht mehr von Wichtigkeit, das Rad im Unterwasser tauchen zu lassen, indem das Gefälle, welches dadurch gewonnen werden kann, von keinem Belang ist gegen das totale Gefälle.

Hierauf trage man das Gefälle auf und ziehe die Linie mn , welche den Wasserstand im oberen Kanale angibt. Nun nehme man im Umkreis des Gerinnes den Punkt 1 in einer Tiefe von 0.3^m unter dem Wasserspiegel mn an, mache

$$1,2 = 2,3 = 3,4 \dots = 0.4 a$$

verzeichne die Zelle $1ab$ in der Stellung, dass ihre äussere Kante durch den Punkt 1 geht, verlängere die Richtung $a1$ nach c , ziehe durch 1 an den Umkreis des Gerinnes eine Tangente $1c$, mache $1d$ gleich der Geschwindigkeit, welche der Tiefe des Punktes 1

unter der Oberfläche des Spiegels mn entspricht und $1c$ gleich der Umfangsgeschwindigkeit des Rades und vollende das Parallelogram $1edc$, so ist die Diagonale $1d$ die Richtung, nach welcher das Wasser bei 1 eintreten muss, damit es weder an die Wand $1a$ anschlägt, noch von derselben geschlagen wird. Denn wenn das Wasser nach der Richtung $1d$ und mit der Geschwindigkeit $1d$ bei 1 eintritt, und man denkt sich diese letztere in die zwei Geschwindigkeiten $1c$ und $1e$ zerlegt, so folgt es mit $1c$ dem Umfange des Rades, tritt also mit $1e$ nach der Richtung von $1a$ in die Zelle ein, d. h. der Eintritt erfolgt gerade so, als wenn das Rad ruhte, und als wenn das Wasser mit einer Geschwindigkeit $1e$ nach der Richtung $e1a$ ankäme. Wollte man das Wasser so eintreten lassen, dass es schon bei 1 gegen die obere Fläche der Wand schlägt; so würde der Winkel $d1c$ gar zu klein ausfallen, das Wasser müsste also sehr stark aus der horizontalen Richtung seiner Bewegung im Kanale abgelenkt werden, und die Coulissenkanäle würden sehr eng ausfallen, es ist daher besser, das Wasser bei 1 ohne Stoss gegen die Fläche $1a$ eintreten zu lassen. Nun errichte man in 1 auf $1d$ eine Senkrechte, nehme einen passenden Krümmungshalbmesser 11 (gewöhnlich $= a$) für die Coulisse an, und beschreibe mit demselben die obere Coulisse 11 . Die den Theilungspunkten $2, 3, 4$ entsprechenden Coulissen ergeben sich dann, indem man durch $2, 3, 4$ Linien $211, 311, 411$ zieht, die gegen den Umfangskreis des Gerinnes eben so stark geneigt sind, wie die Linie 11 , was dadurch geschehen kann, indem man aus dem Mittelpunkte des Rades einen (in der Figur nicht vorhandenen) Kreis zieht, welcher von der verlängerten Richtung 11 berührt wird und nach diesem Kreis von den Punkten $2, 3, 4$ aus Tangenten zieht und hierauf mit dem Halbmesser $11 = 211 = 311 = a$ aus $1, 11, 111$, Kreisbögen beschreibt.

Die so construirten Coulissen haben die Eigenschaft, dass das Wasser mit stetig zunehmender Intensität auf die obere Seite der Wand $1a$ anschlägt, während dieselbe durch den Wasserstrahl niedergeht. Die erforderliche Anzahl Coulissen wird wiederum auf ähnliche Weise bestimmt, wie bei dem vorhergehenden Rade gezeigt wurde, nur hat man hier den Coefficienten 0.75 in Rechnung zu bringen. Ist diese Anzahl ausgemittelt, so ergibt sich die schiefe Fläche $1, 4$, auf welche der Schützen zu gleiten hat, indem man die Punkte 1 und 4 , so bestimmt, dass sie von dem Umkreis des Gerinnes gleich weit und zwar um ungefähr 0.3^m abstehen, und sie hierauf durch eine gerade Linie verbindet.

Wenn die Wasserstände in den beiden Kanälen veränderlich sind, nehme man den höchsten Stand im untern Kanale in einer Höhe $\frac{1}{2}a$ über dem tiefsten Punkt des Rades an, verzeichne nach dem so eben angegebenen Verfahren den Einlauf für den niedrigsten Wasserstand im oberen Kanale und füge nach aufwärts so viele Coulissen hinzu, dass der Theilungspunkt für die obersten derselben ungefähr 0.3^m unter den höchsten Wasserspiegel zu liegen kommt.

c. Einlauf für das überschlächtige Rad.

Bei dem überschlächtigen Rade müssen wir den Fall, wenn ein möglichst günstiger Nutzeffekt verlangt wird, von demjenigen unterscheiden, wenn der Wasserzufluss mehr

als hinreichend ist, dafür aber eine gewisse Umfangsgeschwindigkeit des Rades oder eine gewisse Anzahl Umdrehungen desselben gefordert wird.

Soll der Effekt möglichst günstig ausfallen, so nehme man die Umfangsgeschwindigkeit des Rades nicht grösser als 1.5^m und die Geschwindigkeit des am Scheitel eintretenden Wassers nicht grösser als 3^m an, berechne nach den bereits früher aufgestellten Regeln die Dimensionen des Rades, verzeichne den Durchschnitt desselben tangierend an dem unteren Wasserspiegel und eine im Scheitel stehende Zelle afg , Fig. 51. Sodann ziehe man durch den Punkt a eine Tangente ad an das Rad und eine Tangente ac an den Punkt a der Krümmung af , mache $ad = v$, ziehe durch d eine Parallele zu ac , durchschneide diese von a aus mit einer Zirkelöffnung $\overline{ab} = 2 \overline{ad} = 2v = V$ und ziehe die Diagonale des Parallelograms $abcd$, so ist ab die Richtung, nach welcher das Wasser bei a ankommen muss, um ohne Stoss gegen af in die Zelle afg einzutreten. Den Einlauf ae kann man nach der Parabel krümmen, welche ein Wassertheilchen beschreibt, welches in a nach der Richtung ab und mit der Geschwindigkeit v ankommt. Der Scheitel e dieser äusserst schwach gekrümmten Parabel wird auf die gleiche Weise gefunden, wie bei dem Krofrad. Es ist nämlich der Horizontalabstand der Punkte a und e gleich $\overline{al} \sin 2(\widehat{bad})$ und der Vertikalabstand derselben $\overline{al} \sin 2(\widehat{bad})$. Von e an ziehe man den horizontalen oder sehr schwach geneigten Boden ek des Zuleitungskanals, und den Schützen stelle man über den Scheitel der Parabel, wenn der Punkt e so weit von dem Umfange des Rades entfernt ist, dass daselbst zum Tragen des Kanals ein Querbalken angebracht werden kann, widrigenfalls stelle man den Schützen so weit gegen k zurück, dass unter demselben für einen Tragbalken hinreichender Raum vorhanden ist.

Wenn gefordert wird, dass das Rad in 1 Minute eine gewisse Anzahl Umdrehungen machen soll, bleibt die Construction ungeändert, es muss aber R , v und V durch Rechnung bestimmt werden. Nun ist allgemein:

$$2R = H - \frac{V^2}{2g}$$

$$n = 9.548 \frac{v}{R}$$

Wenn wir aber annehmen, dass das Wasser mit einer Geschwindigkeit v ankommen soll, die doppelt so gross ist als die Umfangsgeschwindigkeit des Rades (eine Annahme, die deshalb zweckmässig ist, weil dann die Dicke des Strahles ungefähr halb so gross ausfällt, als die Schluckweite), so haben wir noch;

$$V = 2v$$

Aus diesen drei Gleichungen:

$$R = \frac{2g(4.774)^2}{n^2} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{1}{2} \frac{Hn^2}{(4.774)^2 g}} \right]$$

oder

$$R = \frac{447}{n^2} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{Hn^2}{447}} \right]$$

und dann hat man ferner:

$$v = \frac{nR}{9.548}$$

$$V = 2v$$

Die Bedingung, dass das Rad in 1 Minute n Umdrehungen machen soll, ist jedoch nur dann realisierbar, wenn der Werth von R , welchen die Formel gibt, nicht zu sehr von $\frac{1}{2}H$ verschieden ist. Als Grenze darf man annehmen, dass

$$R \text{ nicht grösser als } \frac{1}{2}H + 0.15^m$$

$$R \text{ nicht kleiner als } \frac{1}{2}H - 0.5^m$$

Die Regeln zur Verzeichnung des Poncelet-Rades sind bereits Seite (124 und 126) aufgestellt worden.

FÜNFTER ABSCHNITT.

DER BAU DER WASSER-RÄDER UND GERINNE.

Bauart der Räder im Allgemeinen.

Wenn man von dem Materiale abstrahirt, aus welchem die Räder hergestellt werden können, und nur allein die Art der Verbindung der einzelnen Theile zu einem Ganzen in's Auge fasst, so kann man alle Räder in folgende drei Classen eintheilen:

1. Räder mit steifen Armen, durch welche der den Schaufeln oder Zellen mitgetheilte Effekt in die Radwelle und durch diese auf die Transmissionsräder übertragen wird.

2. Räder mit steifen Armen und mit einem an die Radarme oder an die Radkränze befestigten Zahnkranze, von welchem aus der dem Rade mitgetheilte Effekt an die Transmission übertragen wird.

3. Räder mit dünnen schmiedeisernen stangenartigen Armen und mit einem an die Radkränze befestigten Zahnkranze, welcher die Kraft an die Transmission abgibt.

Nach diesen drei Constructionssystemen richtet sich sowohl die Grösse, als auch die Art des Widerstandes, welchen die Arme und die Welle zu leisten haben, damit der Effekt mit Sicherheit auf die Transmission übertragen wird, daher ist es nothwendig, dass wir diese Constructionssysteme genauer betrachten.

Es sei Fig. 52 der Durchschnitt eines nach dem ersten Systeme gebauten Rades mit drei Armsystemen. Wenn wir vorläufig von dem Gewichte des Baues absehen, so ist klar, dass hier jedes Armsystem gleich stark, und zwar auf respective Festigkeit, in Anspruch genommen wird. Jedes Armsystem überträgt also $\frac{1}{3}$ des ganzen, dem Rade mitgetheilten Effekts nach der Welle herein, diese empfängt also in jedem der drei Punkte a, b, c. $\frac{1}{3}$ N Pferdekraft Effekt. Daraus geht aber hervor, dass die einzelnen Wellentheile ab, bc, cd nicht gleich grosse Effekte zu übertragen haben, sondern das Wellenstück ab überträgt nun die bei a in die Welle eingetretene Kraft $\frac{1}{3}$ N, mit dieser vereinigt sich die bei b eingetretene Kraft, das Wellenstück bc überträgt daher eine

Kraft $\frac{1}{3}$ N, zu dieser kommt endlich bei c neuerdings die Kraft $\frac{1}{3}$ N hinzu, das Wellenstück cd überträgt demnach erst die totale Kraft $\frac{1}{3} N = N$ auf die Transmission.

Dass diese Wellenstücke auf Torsion in Anspruch genommen sind, bedarf kaum erwähnt zu werden; auch wird es nach diesem Beispiele klar sein, wie stark die Arme und die einzelnen Wellenstücke in Anspruch genommen werden, wenn das Rad mehr oder weniger als drei Armsysteme besitzt. Nebst den angegebenen Kräften haben aber die Arme und die Welle auch noch das Gewicht der Construction zu tragen, allein die Rechnung zeigt, dass die Dimensionen, welche die Arme und die Welle erhalten, um den zu übertragenden Kräften sicheren Widerstand leisten zu können, immer grösser ausfallen, als jene, welche sie für das Tragen des Gewichts der Construction erhalten müssten; man kann daher bei der Berechnung der Stärke der Arme und der Welle von dem Gewichte der Construction ganz absehen und nur allein die Zapfen der Welle nach diesem Gewichte bestimmen.

Dieses erste Constructionssystem ist klar und einfach, es ist aber für Räder, die eine bedeutende Kraft zu entwickeln haben, nicht anwendbar, weil es dann zu einem sehr schwerfälligen Baue führt; denn nehmen wir z. B. an, es handle sich um den Bau eines Rades, welches 40 Pferdekraft Nutzeffekt entwickeln soll und in 1 Minute fünf Umdrehungen macht, dann würde nach den bekannten Regeln zur Berechnung der Torsionswellen das Wellenstück cd einen Durchmesser von 32 Centimeter erhalten und das erste Transmissionsrad müsste wenigstens $6 \times 33 = 192$ Centimeter Halbmesser und 36 Centimeter Zahnbreite erhalten.

Man sieht also schon aus diesem Beispiele, dass dieses erste Constructionssystem für stärkere Räder nicht brauchbar ist, und es ist nun die Frage, welches der grösste Effekt ist, bei dem diese Bauart noch angewendet werden kann?

Um diese Frage ganz bestimmt zu beantworten, muss man die Constructionskosten des ersten Systems mit jenen des zweiten genau vergleichen; es wird daher zweckmässiger sein, wenn wir die Entscheidung dieses Punktes verschieben.

Betrachten wir nun ferner ein nach dem zweiten Systeme erbautes Rad, Fig. 53, welches beispielsweise ebenfalls drei Armsysteme hat, so ist leicht einzusehen, dass das dem Zahnkranz gegenüberstehende, so wie auch das mittlere Armsystem einen Effekt $\frac{1}{3}$ N nach der Welle herein überträgt, und dass das letzte Drittel der totalen Kraft direct dem mit dem Radkranz verbundenen Zahnkranz übergeben wird. Das erste Wellenstück überträgt daher einen Effekt $\frac{1}{3}$ N, das zweite Wellenstück dagegen einen Effekt $\frac{1}{3}$ N und dieser wird durch das auf der Seite des Zahnkranzes befindliche Armsystem nach dem Zahnkranze herausgeleitet, und vereinigt sich da mit dem direct abgegebenen Effekt $\frac{1}{3}$ N. Das auf der Seite des Zahnkranzes befindliche Armsystem hat also bei dem zweiten Constructionssysteme, wenn mehr als zwei Armsysteme angewendet werden, mehr auszuhalten, und soll daher (was bei den bestehenden Rädern nicht der Fall ist) stärkere Dimensionen erhalten, als jedes der beiden anderen Armsysteme.

Was endlich die Zapfen betrifft, so haben diese das Gewicht der Construction zu tragen; der auf der Seite des Zahnkranzes befindliche Zapfen B hat aber mehr auszuhalten, als der andere Zapfen A. Denn das Gewicht des Zahnkranzes wirkt grösstentheils

nur auf B und das Gewicht aller übrigen Theile der Construction wirkt zur Hälfte auf A, zur Hälfte auf B.

Man sieht also, dass wenn bei einem nach dem zweiten Constructionssysteme erbauten Rade alle Theile gehörig proportionirt sein sollen, so müssen die Querschnittsdimensionen so zu sagen von der Seite A gegen die Seite B hin allmählig wachsen.

Auch bei diesem Systeme kann man bei der Bestimmung der Dimension der Arme und der Wellenstücke zwischen den Armsystemen das Gewicht der Construction vernachlässigen, denn einerseits fallen die Dimensionen, welche diese Theile erhalten, wenn man sie nach der zu übertragenden Kraft berechnet, stärker aus, als sie sein müssten, um das Gewicht der Construction zu tragen, und andererseits verhindern die steifen Arme und ihre Verbindung durch die Schaufeln oder Kübel jede Biegung der Welle; es sind daher nur allein die Zapfen und die kurzen Wellenstücke von den Zapfen bis zu die äusseren Armsysteme hin nach dem Gewichte der Construction zu proportioniren.

Nach den nun gegebenen Erläuterungen wird man leicht auch die Kräfte bestimmen können, welchen die einzelnen Theile zu widerstehen haben, wenn mehr oder weniger als drei Armsysteme vorhanden sind.

Vergleichen wir nun das erste Constructionssystem mit dem zweiten, so sieht man, dass bei letzterem das Wellenstück *ca* Fig. 52 und ein Armsystem von der Kraft $\frac{1}{2}N$ erspart wird; im Allgemeinen ist also die Zahnkranzconstruction hinsichtlich des Materialaufwands ökonomischer als jene, bei welcher kein Zahnkranz vorkommt; von Belang ist aber diese Ersparniss erst bei stärkeren Rädern.

Hinsichtlich der Arbeitskosten, welche die Ausführung verursacht, ist wenigstens für schwächere Räder ein Vortheil auf Seite der Anordnung ohne Zahnkranz, denn die Verbindung der einzelnen Segmente, aus welchen dieser letztere besteht, verursacht ziemlich viel Arbeit, die bei einem kleinen Rade fast eben so gross ist, wie bei einem starken.

Man sieht also, dass das erste Constructionssystem für kleinere Kräfte bis zu 10 oder 12 Pferdekraft, das zweite System dagegen für stärkere Kräfte anzuwenden ist. Zur weiteren Bekräftigung dieser Regel kann man auch noch anführen, dass sich in jeder Maschinenwerkstätte bereits Modelle für Zahnräder bis zu 12 Pferdekraft vorfinden, es brauchen also die Kosten dieses Modells gar nicht oder doch nur gering in Anschlag gebracht werden.

Bei dem zweiten Constructionssysteme kommt ein Theil der vom Rade empfangenen Kraft erst nach einem weitläufigen Umwege an ihr Ziel; denn ein Theil der Kraft fliessen so zu sagen zuerst durch die Arme nach der Welle herein, durchläuft hierauf die ganze Welle und geht dann wiederum durch das auf der Seite des Zahnkranzes befindliche Armsystem nach dem Umränge hinaus, um sich daselbst in dem Zahnkranze mit dem direct abgegebenen Theile der Kraft zu vereinigen. Diesen Umweg muss die Kraft nur deshalb machen, weil bei dieser Bauart die Theile, welche das Schaufel- oder Kübelssystem bilden, nicht direct unter sich und mit dem Zahnkranz zu einem Ganzen verbunden sind, sondern nur indirect durch die steifen Arme und durch die Welle.

Dem dritten Constructionssysteme liegt nun der Gedanke zu Grund, durch eine directe Verbindung des Schaufel- oder Zellensystems mit dem Zahnkranz die dem Rade mitgetheilte Kraft ohne allen Umweg unmittelbar in den Zahnkranz hineinzuleiten, so dass die verschiedenen Arme des Rades, so wie auch die Welle nur allein von dem Gewichte der Construction affizirt werden, daher bedeutend schwächer gehalten werden können, als bei dem zweiten Constructionssystem. Die Bauart dieses dritten Systems wird durch die Figuren 54, 55, 56 erklärt. Fig. 55 ist ein Vertikaldurchschnitt des Rades, Fig. 56 eine äussere Ansicht des Rades nach Hinwegnahme der Schaufeln oder Zellen und des Radbodens; Fig. 54 ist eine äussere Ansicht des Rades nach der Richtung seiner Axe.

aa, sind die Radkrone oder Radkränze;

b ist der mit dem Radkranze *a*, verbundene Zahnkranz, welcher in das Getriebe *c* (auch Kolben genannt) eingreift;

ad, sind zwei Systeme von radialen schmiedeisernen Armen, welche aussen mit den Radkränzen und innen mit den auf der Radwelle *g* aufgekeilten scheibenartigen Körpern *ff*, (Rosetten) verbunden sind. Diese Arme sind bestimmt, das Gewicht der äusseren Theile des Rades zu tragen.

ee, sind zwei Systeme von Spannstrangen. Die Strangen des Systems *e* gehen von der Rosette *f*, aus und sind aussen mit dem Radkranze *a* verbunden, die Strangen *e*, gehen dagegen von der Rosette *f* aus und sind aussen mit dem Kranze *a*, verbunden. Diese Strangen (Diagonalstrangen) haben die Bestimmung, das Rad gegen horizontale Schwankungen (nach der Richtung der Axe des Rades) zu schützen.

ii sind Strangen, welche am inneren Umränge des Rades von dem Radkranze *a* aus in schiefer Richtung nach dem Radkranze *a*, hinziehen, sie werden Umfangsstrangen genannt und haben den Zweck, in Verbindung mit den Schaufeln oder Zellen (welche die beiden Radkränze auseinander halten) ein Verwinden dieser letzteren gegenüber zu verhindern.

Durch diese Umfangsstrangen ist so zu sagen die Seite *a* des Rades an die andere Seite *a*, angespannt, und die Kraft, mit welcher das in den Schaufeln oder Zellen enthaltene Wasser auf den Kranz *a* wirkt, wird durch die Umfangsstrangen *ii* auf die andere Seite des Rades übertragen und vereinigt sich daselbst in dem Zahnkranz mit der direct abgegebenen Kraft. Diese Umfangsstrangen liegen in der Fläche eines Rotations-Hyperboloides und müssen so angebracht werden, dass sie in Bezug auf ihre absolute Festigkeit in Anspruch genommen werden, d. h. so, dass die an den Radkranz *a* abgegebene Kraft mittelst dieser Strangen *ii* an den Kranz *a*, anzieht.

Was die Welle betrifft, so hat diese nur das Gewicht der Construction des Rades zu tragen; das gleiche gilt auch von den Zapfen; es ist aber auch hier wiederum der auf der Seite des Zahnkranzes befindliche Zapfen stärker in Anspruch genommen, als der andere.

Der klare früher ausgesprochene Grundgedanke, auf welchen dieses dritte Constructionssystem (auch Suspensionsprinzip genannt) beruht, ist weder von dem Erfinder desselben, noch von der Mehrzahl seiner Nachahmer richtig erkannt worden, was durch den

Umstand bewiesen wird, dass die von Engländern, Franzosen und von Deutschen nach diesem Systeme erbauten Räder keine Umfangsstangen, oft nicht einmal Diagonalstangen haben. Lässt man aber die Umfangsstangen weg, so hat diese Konstruktionsart gar keinen verständigen Sinn, und es ist dann, wie auch die Erfahrung bewiesen hat, gar nicht möglich, mit den dünnen radialen und diagonalen Stangen das Verwinden der beiden Seiten des Rades gegen einander aufzuheben.

So viel mir bekannt ist, haben die Herren *Escher Wyss & Comp.* zuerst die Umfangsstangen in Anwendung gebracht, nachdem die Erfahrung ihre Nothwendigkeit kennen gelernt hatte.

Was die Anwendbarkeit dieses dritten Konstruktionssystems betrifft, so ist zunächst klar, 1. dass es nur gebraucht werden kann, wenn von dem Bau eines eisernen Rades die Rede ist, 2. dass mit demselben nur bei Rädern von grossen Halbmessern eine beachtenswerthe Ersparniss an Material erzielt werden kann; 3. dass für überschlächtige Räder eine Eisenkonstruktion nicht von so bedeutendem Vortheil ist, als für Räder mit Gerinne, indem bei jenen der Nachtheil, welcher entsteht, wenn das Rad mit der Zeit sich etwas verzieht und unrund wird, nicht so gross sein kann als bei diesen, welche für eine gute Wirkung ein sich gleich bleibendes möglichst genaues Anschliessen des Radumfangs an das Gerinne erfordern. Aus diesen Gründen geht hervor, dass das Suspensionsprinzip vorzugsweise nur bei grösseren rückschlächtigen Rädern, die immer mit einem Gerinne versehen werden sollen, empfohlen werden kann.

Das Material für den Bau der Räder.

Hinsichtlich des Materiales, aus welchen die Räder gemacht werden, kann man dieselben einteilen, wie folgt:

1) Hölzerne Räder zur Benutzung von kleineren Wasserkraften mit nur wenigen kleineren schmiedeisernen Theilen.

Diese Räder sind vorzugsweise für die Gewerbe empfehlenswerth.

2) Hölzerne Räder mit einzelnen grösseren gusseisernen Bestandtheilen. Schaufeln, Zellen, Radboden, Radkranz, Arme, Welle von Holz. Zahnkranz, Rosetten, Zapfen von Gusseisen; kleinere Verbindungstheile von Schmiedeeisen.

Diese Räder eignen sich vorzugsweise für einen grösseren, aber ökonomischen Fabrikbetrieb.

3) Gusseiserne Räder mit Schaufeln oder Zellen von Holz oder aus Eisenblech. Diese Räder können, wenn es sich um einen soliden, wenn auch kostspieligen Bau handelt, angewendet werden, so lange der Halbmesser nicht grösser als 3^m ist, sie werden aber, wie auch die folgenden, immer mehr und mehr von den weniger kostspieligen Turbinen verdrängt.

4) Räder, theils von Schmiedeeisen, theils von Gusseisen. Diese Combination von Materialien kommt vorzugsweise bei den nach dem Suspensionsprinzip erbauten Rädern vor, und gibt in diesem Falle viele Solidität, ist aber ebenfalls sehr kostspielig.

5) Räder aus Schmiedeeisen, Schaufeln und Radkronen von Blech. Arme und Welle

von Schmiedeeisen, Rosetten von Gusseisen. Diese Bauart eignet sich nur für Poncelet'sche Räder von nicht zu bedeutender Kraft, wenn kein Zahnkranz angewendet wird.

Der Kostenunterschied zwischen einem eisernen und einem hölzernen Rade ist sehr bedeutend, die eisernen Räder wiegen im Durchschnitt für jede Pferdekraft Nutzeffekt 400 bis 500 Kilg., und 100 Kilg. zu Räder verarbeitetes Eisen wird von den Constructeurs zu 40 bis 50 Gulden geliefert, die Anschaffungskosten eines Rades ohne Gerinne und ohne Wasserbau sind demnach für jede Pferdekraft Nutzeffekt 160 bis 250, oder im Mittel 200 Gulden. Hölzerne Räder mit eisernen Zahnkränzen und Rosetten kosten dagegen nur den dritten Theil oder die Hälfte, also 60 bis 100 Gulden per Pferdekraft, und die Räder, welche bis auf kleinere Verbindungstheile ganz aus Holz gemacht sind, kosten ungefähr nur den fünften Theil, also 40 Gulden per Pferdekraft.

Der Kostenunterschied, welchen die Wahl des Materials verursacht, ist demnach so bedeutend, dass es von Wichtigkeit ist, die Vortheile, welche die eisernen Räder gewähren, und die Nachtheile, welche die Holzkonstruktionen mit sich bringen, näher zu bezeichnen.

Ein eisernes Rad mit gut proportionirter Querschnittsdimension und mit zweckmässig gewählten und gut ausgeführten Verbindungen ist so zu sagen ein monumentaler Bau, an welchem sich mit der Zeit nichts verändert. Ein hölzernes Rad dagegen ist ein Bau, an welchem theils durch die in seinem Innern thätigen Kräfte, theils durch den Einfluss der Nässe und der Atmosphäre allmähige mit der Zeit fortschreitende Veränderungen in der Form des Ganzen, in der Verbindung seiner Theile und in der materiellen Beschaffenheit derselben eintreten, so dass ein solches Rad nach einer Reihe von 8 bis 10 Jahren einer wahren Ruine gleicht, an welcher fort und fort ausgebessert werden muss, um sie von dem gänzlichen Verfall zu retten. Hieraus ergeben sich folgende weitere Vergleichen:

1) Der Nutzeffekt eines eisernen Rades bleibt immer gleich gut. Der Nutzeffekt eines hölzernen Rades wird mit der Zeit immer ungünstiger, weil die Wasserverluste immer zunehmen.

2) Die Bewegung ist bei einem eisernen Rade unveränderlich sehr gleichförmig, bei einem hölzernen Rade wird sie dagegen mit dem Alter desselben mehr und mehr ungleichförmig.

3) Bei einem gutgebauten eisernen Rade kommen nur selten und nie bedeutende Reparaturen vor, bei einem hölzernen Rade werden die Reparaturen immer häufiger und bedeutender, was für grössere Fabriken, in denen viele Arbeiter beschäftigt sind, sehr nachtheilige Unterbrechungen in der Arbeit zur Folge haben kann.

Aus dieser Vergleichung geht hervor, dass die eisernen Räder für grössere industrielle Unternehmungen, ungeachtet ihrer bedeutenden Kosten anempfohlen werden können, weil in diesem Fall die Vortheile, welche aus der Unveränderlichkeit der Wirkung und Gleichförmigkeit der Bewegung, so wie auch daraus entstehen, dass keine Unterbrechungen in der Arbeit vorkommen, zu überwiegend sind über die Nachtheile, welche die grösseren Anschaffungskosten zur Folge haben können.

Für kleinere industrielle Unternehmungen, die gewöhnlich auch mit kleineren Fonds

betrieben werden, sind dagegen die hölzernen Räder mit eisernen Zahnkränzen, Kranzstangen, Rosetten und Zapfen am geeignetsten.

Für die Gewerbeindustrie, welche gewöhnlich mit geringem Kapital, dagegen mit mehr als hinreichenden Wasserkraften betrieben wird, bei welcher ferner in der Regel keine grössere Gleichförmigkeit der Bewegung nothwendig ist, und die auch gewöhnlich nur schwächere Räder von 4, 6, 8 Pferdekraft nothwendig hat, sind unbestreitbar die ganz aus Holz construirten Wasserräder die geeigneten hydraulischen Kraftmaschinen.

Querschnittsdimension der Theile eines Rades.

Der Zahnkranz.

Der Druck, welchem die Zähne des Zahnkranzes und jene des Kolbens zu widerstehen haben, ist

$$\frac{75 N_a}{v} \frac{R}{R_1} \text{ Killg.}$$

wobei R , den Halbmesser des Zahnkranzes bezeichnet. Bekanntlich werden die Zähne so construiert, dass die Hauptdimension (z die Dicke, z_1 die Breite, z_2 die Länge, z_3 die Theilung) in einem constanten Verhältnisse zu einander stehen, und unter dieser Voraussetzung ist jede dieser Dimensionen der Quadratwurzel aus dem Druck proportional, welchem ein Zahn Widerstand zu leisten hat.

Durch Vergleichung der Dimensionen der Zähne von einer grossen Anzahl von ausgeführten Rädern habe ich folgende Regeln gefunden, Fig. 57:

$$\begin{aligned} z &= 0.086 \sqrt{\frac{75 N_a}{v} \frac{R}{R_1}} \text{ Centimeter} \\ z_1 &= 5.5 z \\ z_2 &= 1.5 z \\ z_3 &= 2.1 z \end{aligned}$$

Diese Dimensionen sind im Verhältnisse 86:100 schwächer als sie in der Regel bei gut proportionirten Transmissionsrädern für grössere Kräfte gefunden werden.

Gewöhnlich ist R_1 nur wenig von R verschieden, und v ungefähr = 1.5m; annähernd kann man daher unter dieser Voraussetzung schreiben:

$$z = 0.6 \sqrt{N_a}, z_1 = 3.3 \sqrt{N_a}$$

Der Halbmesser R , des Zahnkranzes richtet sich nach der Bauart des Rades. Bei hölzernen oder eisernen Schaufelrädern wird der Zahnkranz an den Radkranz, bei hölzernen Zellenrädern an die Radarme, bei eisernen Zellenrädern an die Radkronen angeschraubt. Das genaue Maas für den Halbmesser findet man immer leicht bei der Verzeichnung des Rades. Der Zahnkranz erhält, je nachdem die Bauart des Rades ist, eine innere oder eine äussere Verzahnung. Bei Schaufelrädern muss man, um für den

Kolben Platz zu finden, jederzeit eine innere Verzahnung anwenden; bei Zellenrädern kann man je nach Umständen die eine oder die andere Verzahnungsart gebrauchen. Die Querschnittsdimensionen des winkelförmigen Körpers, an welchem die Zähne angegossen sind, können der Dicke des Zahnes proportional gemacht werden; es muss jedoch die Höhe der Verstärkungsnerve, welche in der Ebene des Rades liegt, beim hölzernen Rade grösser gemacht werden, als beim eisernen, weil im ersteren Falle der Zahnkranz für sich selbst hinreichende Festigkeit haben muss, wo hingegen im letzteren Falle die eisernen Radkränze, gegen welche der Zahnkranz angeschraubt wird, seine Festigkeit bedeutend unterstützen.

Der Zahnkranz muss aus mehreren Gründen aus einzelnen Segmentstücken zusammengesetzt werden, denn 1) wäre es nicht möglich, einen so grossen verzahnten Ring aus einem Stück vollkommen rund zu giessen, 2) würde ein so grosser Kranz oft gar nicht oder doch nur sehr schwer transportabel sein, 3) würde man in dem Fall, wenn ein einzelner Zahn abbrechen sollte, den ganzen Kranz erneuern müssen, weil es nicht gut angeht, einen einzelnen Zahn auf solide Weise mit dem Körper des Kranzes zu verbinden.

Wie die einzelnen Zahnsegmente unter sich und mit dem Radkörper zu verbinden sind, wird später bei der Beschreibung der auf den grossen Tafeln dargestellten Rädern vorkommen; nur so viel mag noch vorläufig bemerkt werden, dass der Zahnkranz bei hölzernen Rädern durch eiserne Stangen mit der Rosette verbunden werden muss, damit derselbe, wenn sich das Holz verziehen sollte, weder unrund noch excentrisch gegen die Radaxe werden kann.

Das Getriebe oder der Kolben,

welcher vom Zahnkranz getrieben wird, erhält einen 3, 4 bis 5 mal kleineren Halbmesser als der Zahnkranz, so dass also die Kolbenwelle 3, 4, 5 mal mehr Umdrehungen macht, als das Wasserrad. Die Dimensionen der Zähne des Kolbens und des Zahnkranzes stimmen natürlich überein, und ihre Anzahl ist im Verhältniss der Halbmesser zu nehmen. Auch muss die Anzahl der Zähne des Zahnkranzes ein Vielfaches sein von der Zahl der Segmentstücke, aus welchen der Kranz besteht. Diese Bedingungen sind in der Regel nur dadurch zu erfüllen, indem man von der berechneten Zahndicke um eine Kleinigkeit abgeht. Am zweckmässigsten ist es, wenn man bei der Bestimmung der Anzahl der Zähne auf folgende Art verfährt. Man berechnet zuerst nach den Formeln, Seite 160, die Dimensionen eines Zahnes und die Theilung, dividirt hierauf den in Centimetern ausgedrückten Umfang des Zahnkranzes durch die Theilung, und nimmt die nächste ganze durch die Anzahl der Zahnsegmente (welche gleich gemacht wird der Anzahl der Arme eines Armsystems) theilbare Zahl für die Anzahl der Zähne des Kranzes. Mit dieser Anzahl dividirt man neuerdings den Umfang des Kranzes und erhält dadurch den corrigirten Werth der Theilung. Nun nimmt man provisorisch den Halbmesser des Kolbens nach der oben angegebenen Regel an, also je nach Umständen $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ von jenen des Zahnkranzes; berechnet den Umfang, welcher diesem provisorischen Halbmesser

entspricht, in Centimetern, und dividirt denselben durch jene corrigirte Theilung; die diesem Quotienten nächste gerade Zahl ist dann die Anzahl der Zähne des Kolbens. Der wahre Halbmesser desselben wird endlich gefunden, wenn man das Produkt aus der wahren Anzahl der Zähne in die corrigirte Theilung durch 2π dividirt. Der Durchmesser der Kolbenwelle ist nach der bekannten Formel für Transmissionswellen zu berechnen.

$$\text{Durchmesser der Kolbenwelle in Centimetern} = 16 \sqrt[3]{\frac{\text{Nutzeffekt in Pferdekräften.}}{\text{Umdrehung der Kolbenwelle p. 1'}}$$

Sehr wichtig ist die Position des Kolbens. Am besten ist es, wenn der Kolben so angebracht werden kann, dass die Linie, welche den Mittelpunkt des Rades und des Kolbens verbindet, durch den Schwerpunkt der Wassermasse geht, welche in dem Rade enthalten ist; denn in diesem Falle kann das Gewicht des Wassers nicht auf die Zapfen des Rades wirken. Gewöhnlich wird die Kolbenwelle und die Wasserradswelle auf gleiche Höhe gelegt, wodurch man den Vortheil erreicht, dass die Zapfenlager dieser beiden Wellen auf eine gemeinschaftliche Unterlagsplatte gelegt werden können, was für eine unveränderliche Tiefe des Eingriffs der Zähne sehr gut ist. Diese Lage der Kolbenwelle stimmt bei überschlächtigen Rädern mit derjenigen überein, bei welcher das Gewicht des im Rade enthaltenen Wassers nicht auf die Zapfen des Wasserrades wirken kann. Bei mittelschlächtigen Rädern ist dagegen diese Lage der Kolbenwelle etwas zu hoch, weil da der Schwerpunkt der Wassermasse tiefer unten liegt. Am wichtigsten ist die richtige Lage der Kolbenwelle bei Rädern mit dünnen schmiedeeisernen Armen, denn wenn der Kolben weit von seiner vortheilhaftesten Lage entfernt ist, werden die Arme des Rades durch das Gewicht des im Rade enthaltenen Wassers in Bezug auf ihre respektive Festigkeit in Anspruch genommen, die bei diesem Arme nur schwach ist.

Die Radarme.

Die Anzahl der Armsysteme richtet sich nach der Breite des Rades. Bei Rädern bis zu 2 oder 2.5^m Breite sind zwei Armsysteme hinreichend. Bei Rädern von 2.5 bis zu 6^m genügen aber zwei Armsysteme nicht mehr, indem sich die Bretter oder Bleche, welche die Schaufeln oder Zellen und den Radboden bilden, unter dem Druck des Wassers biegen würden; man muss daher innerhalb dieser letztgenannten Radbreiten drei Armsysteme anwenden.

Die Anzahl der Arme eines Armsystems richtet sich nach dem Halbmesser des Rades. Durch Vergleichung von ausgeführten Rädern hat sich ergeben, dass die Anzahl der Arme eines Armsystems gleich

$$n = 2 (R^m + 1)$$

genommen werden kann.

Um die Querschnittsdimensionen der Arme zu bestimmen, muss man die Konstruktion mit steifen Armen und jene mit dünnen schmiedeeisernen Stangen besonders betrachten.

Es ist schon früher gezeigt worden, wie bei einem Rade mit steifen Armen die

Kraft bestimmt werden muss, welche auf ein Armsystem einwirkt. Es sei N_1 der Effekt in Pferdekraft, welchen ein Armsystem zu übertragen hat, so ist

$$\frac{75 N_1}{v}$$

der Druck am Umfang des Rades, welchem die Arme dieses Systems zu widerstehen haben. Von dieser Kraft werden zwar nicht alle Arme des Systems gleich stark affizirt, allein da sie durch den Kranz zu einem Ganzen verbunden sind, so kann in keinem Arme eine Biegung eintreten, ohne dass auch alle übrigen nahe um eben so viel gebogen werden, als dieser eine; wir werden uns daher der Wahrheit ziemlich nähern, wenn wir annehmen, dass die auf ein Armsystem wirkende Kraft sich auf alle Arme gleich theilt; und können daher die Kraft, welche auf einen Arm wirkt, gleich $\frac{75 N_1}{v n}$ setzen. Nun könnte man nach den bekannten Formeln für die respektive Festigkeit von Stäben die Querschnittsdimension des Armes bestimmen, einfacher wird aber dieser Zweck auf folgende Art erreicht:

Nennt man:

- a, den Durchmesser, welchen eine eiserne Transmissionswelle erhalten muss, um einen Effekt von N_1 Pferdekräfte bei n Umdrehungen in 1 Minute zu übertragen;
- h die Höhe des eisernen oder hölzernen Radarms, d. h. die auf die Länge des Arms senkrechte Dimension der Hauptnerve, so ist:

$$\frac{h}{d_1} = \frac{1.7}{3 \sqrt{n}}$$

und die Dicke des Armes ist, wenn er von Gusseisen ist, $\frac{1}{3} h$, und wenn er von Holz ist, $\frac{5}{8} h$ zu nehmen.

Für n	4	6	8	10	12
wird $\frac{h}{d_1}$	1.08	0.94	0.86	0.79	0.75

Vermittelt dieser Tabelle kann man die Dimension eines Armes auf folgende Art sehr leicht bestimmen:

Man bestimmt zuerst a, nach der bekannten Formel:

$$d_1 = 16 \sqrt[3]{\frac{N_1}{n}} \text{ Centimeter}$$

Multiplicirt man diesen Werth a, mit demjenigen Coefficienten der vorhergehenden kleinen Tabelle, welcher der Anzahl der Arme des Armsystems entspricht, so erhält man die Höhe des Armes an der Axe in Centimetern.

Diese äusserst bequeme Regel gilt auch für die Arme der Transmissionsräder. Es sei z. B. $N_1 = 5$, $n = 5$, $R = 8$, so hat man

$$d_1 = 16 \text{ und wegen } \frac{h}{d_1} = 0.86, \text{ wird}$$

$$h = 16 \times 0.86 = 13.8 \text{ mm}$$

ist der Arm von Eisen, so wird seine Dicke: $\frac{13.8}{5} = 2.7 \text{ mm}$

ist er von Holz, so wird die Dicke $= \frac{5}{7} 13.8 = 9.7 \text{ mm}$

Man kann sich darauf verlassen, dass man auf diese Weise jederzeit gute Dimensionen erhält, da der Coefficient 1.7 in der Formel für $\frac{h}{d_1}$ durch Vergleichung von einer grossen Anzahl von Rädern praktisch bestimmt worden ist.

Der Arm erhält eine zweckmässige und gefällige Verjüngung, wenn man seine Höhe und Dicke am äusseren Radkranze im Verhältniss 3:4 schwächer nimmt.

Bei einem mit Stangen verspannten Rade haben die radialen Stangen die Bestimmung, das Gewicht der Konstruktion zu tragen, die Diagonalstangen haben das Rad gegen Seitenschwankungen zu schützen, und die Umfangsstangen sind bestimmt, das Verwinden der beiden Seiten des Rades zu verhindern, und die vom Rade empfangene Kraft möglichst direkt nach dem Zahnkranz zu leiten.

Wenn diese Konstruktionsart gegen eine steife Verarmung einen namhaften Vortheil gewähren soll, so müssen die Verbindungen vermittelst der Stangen in der Art hergestellt werden, dass das Rad mit möglichst dünnen Stangen hinreichende Steifheit erhält. Hiezu ist aber nothwendig, dass die verschiedenen Stangen in allen Positionen, welche sie während der Bewegung des Rades annehmen, immer nur gespannt und nie zusammengepresst werden; weil sie bei schwachen Querschnittsdimensionen einer Zusammenpressung nicht widerstehen würden.

Eine Zusammenpressung in irgend einer Stange wird aber nur dann nie eintreten können, wenn die Verbindung der Enden dieser Stangen mit den Rosetten und mit den Radkränzen vermittelst Schrauben oder Stellkeilen geschieht, die nur auf Zug wirken können. Stellkeile sind jedoch den Schrauben vorzuziehen, weil bei ersteren die Gleichheit der Spannung aller Stangen derselben Art aus dem Klang und aus dem Zurückprallen des Hammers beim Eintreiben der Keile genauer und sicherer zu erkennen ist, als durch das Anziehen mit Schrauben vermittelst eines langarmigen Schlüssels.

Damit der ganze Bau eine hinreichende Steifheit erhält, ohne die Stangen übermässig anzuspannen, ist erforderlich, dass 1) die radialen Stangen so stark angezogen werden, dass sie nur sehr schwach gespannt sind, wenn sie in die vertikale aufrechte Stellung gelangen; 2) dass die Diagonalstangen schwächer angezogen werden als die radialen Stangen, damit sie in ihrer obersten Stellung auch nur sehr wenig gespannt sind; 3) dass die Umfangsstangen, welche fortwährend einem unveränderlichen Zuge ausgesetzt sind, anfangs so stark gespannt werden, dass während des Ganges des Rades

kein merkliches Verwinden desselben eintritt; 4) dass die Stangen derselben Art möglichst gleichförmig angezogen werden.

Werden diese Vorschriften bei der Aufstellung eines Rades nicht gehörig beachtet, so können mancherlei Uebelstände eintreten. Werden die radialen Stangen zu stark und ungleichförmig angezogen, so kann es geschehen, dass eine oder die andere reisst, oder dass die Verbindungsköpfe aus den dünnen gusseisernen Radkränzen herausgerissen werden. Werden sie zu schwach angezogen, so hängt der ganze Bau des Rades nur an den Stangen der unteren Hälfte des Rades und die obere Hälfte schwebt so zu sagen frei, was sich durch eine für die verschiedenen Verschraubungen sehr nachtheilige zitternde Bewegung zu erkennen gibt. Werden die Diagonalstangen zu stark angezogen, so kann es geschehen, dass entweder die Verbindungsköpfe aus dem Getäfer gerissen werden, oder dass die Rosetten von der Aufkeilung los gehen und gegen die Zapfen hinaus gestossen werden. Werden sie dagegen zu schwach angezogen, so ist die obere Hälfte des Rades nicht gegen Seitenschwankungen geschützt. Werden endlich die Umfangsstangen zu stark oder zu schwach angezogen, so kann im ersteren Falle entweder ein Abreissen der Stangen oder ein Ausbrechen der Verbindungsköpfe aus dem Getäfer eintreten, und im letzteren Falle werden sich die beiden Seiten des Rades merklich verwinden, was für die verschiedenen Schrauben-Verbindungen sehr nachtheilig werden kann.

Hieraus sieht man, dass die Aufstellung eines solchen verspannten Rades keine so leichte Sache ist, und diesem Umstande ist es zuzuschreiben, dass bei derlei Rädern sehr oft Stangen, Rosetten oder Getäfer gebrochen sind.

Eine sehr genaue Berechnung der Querschnitte der Stangen und der zweckmässigsten Spannungen führt zu äusserst weitläufigen Untersuchungen, die für die Praxis von wenig Werth sind; es ist daher zu diesem Zwecke ein einfaches aber doch sicheres Verfahren vorzuziehen.

Es ist klar, dass das Gewicht aller äusseren Theile des Rades vorzugsweise an denjenigen radialen Stangen hängt, welche sich in der tiefsten Stellung befinden. Wenn wir also den Querschnitt dieser Stangen so stark machen, dass sie allein im Stande sind, das Gewicht der Konstruktion der äusseren Theile des Rades mit Sicherheit zu tragen, so kann man versichert sein, dass die sämtlichen radialen Arme hinreichend stark ausfallen werden. Der Querschnitt eines radialen Armes kann also auf folgende Art bestimmt werden. Man berechne das Gewicht aller äusseren Theile des Rades und dividire es durch die Anzahl der Armsysteme, deren gewöhnlich zwei vorhanden sind, so hat man das Gewicht, welches auf einen Arm wirkend gedacht wird. Dieses Gewicht dividire man durch den sechsten Theil der absoluten Festigkeit des Schmiedeeisens per 1 □ Centim., also durch $\frac{3000}{6} = 500$, so erhält man den Querschnitt des Armes in □ Centim. ausgedrückt. Für die Diagonalstangen und für die Umfangsstangen genügt es, wenn man den Durchmesser der ersteren $\frac{1}{4}$ und den der letzteren 0.6 von jenem der radialen Stangen annimmt.

Wenn man bedenkt, dass der Halbmesser des Rades, insbesondere bei dem rück-

schlächtingen und überschlächtigen, dem Gefälle, und die Breite der Wassermenge ungefähr proportional genommen wird, so kann man vermuthen, dass das Gewicht eines Rades, welches sich vorzugsweise nach dem Halbmesser und nach der Breite richtet, dem absoluten Effekte der Wasserkraft proportional ausfallen muss. Durch zahlreiche Gewichtsberechnungen von Rädern habe ich diese Vermuthung bestätigt gefunden, und durch diese Erfahrung ergeben sich manche sehr einfache praktische Regeln.

So z. B. habe ich gefunden, dass beim Zellenrade das Gewicht der äusseren Bestandtheile per Pferdekraft des absoluten Effekts 400 Killg. beträgt, und daraus folgt nach der oben angegebenen Vorschrift, dass der Querschnitt eines jeden radialen Armes für jede Pferdekraft der absoluten Wasserkraft $\frac{1}{3}$ □ Centimet betragen soll, wenn, wie es gewöhnlich der Fall ist, das Rad mit zwei Armsystemen versehen ist. Hierdurch hat man also eine äusserst einfache Regel zur Bestimmung dieser Radarme.

Wellbäume für Räder mit steifen Armen.

Die Kräfte, welchen ein Wellbaum Widerstand zu leisten hat, richten sich, wie schon früher Seite (155) erklärt wurde, nach der Bauart des Rades. Bei den Rädern mit starren Armen sind die Wellbäume theils auf Torsion, theils auf respective Festigkeit, bei den verspannten Rädern dagegen sind sie nur allein auf respective Festigkeit in Anspruch genommen.

Nennt man N, den Effekt, welchen bei einem Rade mit steifen Armen irgend ein zwischen zwei Armsystemen befindliches Wellenstück der ganzen Welle zu übertragen hat, so muss dieses Wellenstück, vorausgesetzt dass es cylindrisch und von Eisen ist, einen Durchmesser

$$16 \sqrt[3]{\frac{N_1}{n}} \text{ Centimeter}$$

erhalten, um der Torsion mit Sicherheit widerstehen zu können; und mit diesem Durchmesser erhält auch die Welle hinreichende Stärke, um das Gewicht der Construction zu tragen. Den Werth von n, d. h. die Anzahl der Umdrehungen des Rades in 1 Minute findet man durch die Formel

$$n = 9.548 \frac{v}{R}$$

Wie die Werthe von N, für die einzelnen Wellenstücke zu bestimmen sind, ist schon früher bei der Bauart der Räder im Allgemeinen gesagt worden.

Die Zapfen der Welle müssen nach dem Druck berechnet werden, welchem sie durch das Gewicht der Construction ausgesetzt sind.

Nennt man bei einem Rade ohne Zahnkranz G das Gewicht des ganzen Rades sammt Welle, so ist $\frac{1}{2}G$ der Druck, welchen der Zapfen bei a, Fig. 52, auszuhalten hat, und zur Bestimmung seines Durchmessers hat man die Formel:

$$0.18 \sqrt{\frac{G}{2}} \text{ Centimeter}$$

in welcher der Coefficient 0.18 nach einer grossen Anzahl von ausgeführten Rädern bestimmt worden ist.

Bei den Rädern ohne Zahnkranz muss die Welle bei c, Fig. 52, durch ein Lager unterstützt werden, und der Hals der Welle muss daselbst so stark sein, wie bei einer Transmissionswelle, welche einen Effekt von N_n Pferdekraft bei n Umdrehungen in 1 Minute überträgt; der Durchmesser dieses Halses ist daher gleich

$$16 \sqrt[3]{\frac{N_n}{n}} \text{ Centimeter}$$

zu nehmen. Das Wellenstück c d, welches einen eben so grossen Durchmesser erhält, wird am besten bei c an die Wasserradswelle angekuppelt.

Bei einem Rade mit steifen Armen und mit Zahnkranz, hat der auf der Seite des Zahnkranzes befindliche Zapfen nahe einen Druck $\frac{1}{2}G + Z$ und der andere Zapfen hat einen Druck $\frac{1}{2}G$ auszuhalten, wobei G das Gewicht der Construction ohne Zahnkranz und Z das Gewicht dieses letzteren bezeichnet, die Diameter jener Zapfen sind demnach:

$$\left. \begin{array}{l} 0.18 \sqrt{\frac{1}{2} G + Z} \\ 0.18 \sqrt{\frac{1}{2} G} \end{array} \right\} \text{ in Centimetern.}$$

Bei den ausgeführten Rädern sind immer beide Zapfen gleich stark gemacht, was die Aufstellung sehr erleichtert; will man sich an diese Praxis halten, so müssen beide Zapfen nach der ersteren von obigen Formeln bestimmt werden. Bei den auf den grossen Tafeln dargestellten Rädern sind aber die Dimensionen aller Theile, und insbesondere auch die Durchmesser der Zapfen genau nach den wirklich wirksamen Kräften bestimmt worden.

Die Berechnung der Gewichte G und Z ist mühsam und zeitraubend; will man dieser Mühe überhoben sein, so kann man den Erfahrungssatz benutzen, dass die Räder, sie mögen von Holz oder von Eisen construirt sein, für jede Pferdekraft des absoluten Effektes der Wasserkraft durchschnittlich 600 bis 700 Killg. wiegen, hiernach wird der Durchmesser eines Zapfens:

$$0.18 \sqrt{\frac{600 N}{2}} \text{ bis } 0.18 \sqrt{\frac{700 N_n}{2}}$$

oder:

$$3.1 \sqrt{N_n} \text{ bis } 3.4 \sqrt{N_n} \text{ Centimeter}$$

Sicherer ist es aber doch immer, wenn man sich der mühsamen Gewichtsbestimmung unterzieht.

Die Zapfen sollen jederzeit so nahe als möglich an die Rosetten angebracht werden, damit das Wellenstück vom Zapfen an bis an die Rosette hin nicht zu stark ausfällt.

Nennt man l die Entfernung des Mittelpunktes des Zapfens von der Rosette, D den Durchmesser der Welle an der Rosette, d den Durchmesser und c die Länge des Zapfens, so ist

$$D = d \sqrt[3]{\frac{1}{\frac{1}{2} c}}$$

Die hölzernen Wellen müssten hinsichtlich der Festigkeit gegen Torsion wenigstens zweimal so stark gemacht werden, als die eisernen Wellen; allein nach dieser Regel würden sie zur Befestigung der Zapfen noch zu schwach werden.

Die hölzernen Wellen erhalten in jeder Hinsicht eine hinreichende Stärke, wenn man ihren Durchmesser fünf mal so gross nimmt, als jene des Zapfens.

Wellbäume für Räder mit Spannstrangen.

Diese Wellbäume haben, wie schon mehrmals erwähnt wurde, nur allein das Gewicht der Konstruktion zu tragen, sind also nicht auf Torsion in Anspruch genommen.

Wenn man die Berechnung der Welle sehr genau nehmen will, verursacht das einseitige Vorhandensein eines Zahnkranzes weitläufige Rechnungen und Erklärungen. Viel einfacher und leichter verständlich wird die Sache, wenn wir uns denken, dass das Rad auf jeder Seite mit einem Zahnkranz versehen sei, und dass überhaupt die beiden Seiten des Rades übereinstimmen.

Nennen wir unter dieser Voraussetzung:

- d den Durchmesser des Zapfens,
- c die Länge des Zapfens,
- D den Durchmesser der Welle in der mittleren Ebene der Rosette,
- l die Entfernung des Zapfenmittels vom Mittelpunkt der Rosette,
- G das Gewicht des Rades sammt Welle aber ohne Zahnkranz,
- Z das Gewicht des Zahnkranzes,
- M das Elastizitätsmoment eines in dem Abstände
- x von einer Rosette befindlichen Querschnittes des Wellenstückes zwischen den 2 Rosetten.

dann ist

$\frac{1}{2} G + Z$ der Druck, welchen ein Zapfen auszuhalten hat, mithin:

$$d = 0.18 \sqrt[3]{\frac{1}{2} G + Z} \text{ und } c = 1.2 d$$

ferner ist:

$$D = d \sqrt[3]{\frac{1}{\frac{1}{2} c}}$$

Wenn man das Moment von dem Gewicht des Wellenstückes von der Länge $l+x$ vernachlässigt, und den Druck, welchen die Rosette gegen die Welle ausübt, gleich $\frac{1}{2} G + Z$ setzt, wodurch der wahre Werth dieses Druckes um das halbe Gewicht der Welle zu gross angenommen wird, so erhält man folgende annähernde Gleichung:

$$\left(\frac{1}{2} G + Z\right) (l+x) - \left(\frac{1}{2} G + Z\right) x = M$$

oder

$$\left(\frac{1}{2} G + Z\right) l = M$$

die jedoch hinreichend genau ist, indem der vernachlässigte Einfluss von dem Gewichte der Welle von keiner Bedeutung ist. Diese letzte Gleichung ist nun unabhängig von x , es haben daher alle Querschnitte des Wellenstückes zwischen den zwei Rosetten sehr nahe einem gleich grossen Biegemomente $(\frac{1}{2} G + Z) l$ zu widerstehen.

Nimmt man also für die Wellenstücke zwischen den Rosetten einen Cylinder von dem Durchmesser D , so hat man eine Form, Fig. 58, welche der durch obige Gleichung ausgedrückten Bedingung entspricht.

Allein diese cylindrische Form erfordert ziemlich viel Material, und hat im Verhältniss zu ihrem Querschnitt eine sehr kleine Oberfläche, daher bei derselben unganze Stellen im Gusse zu befürchten sind.

Nimmt man für die Querschnittsform einen Cylinder mit kreuzförmigen Nerven, wie Fig. 60 zeigt, so entspricht auch dieser Form die Bedingungsgleichung, vorausgesetzt, dass die einzelnen Dimensionen des Querschnitts gehörig gewählt werden; allein dieser Querschnitt hat den Fehler, dass bei demselben kein stetiger Uebergang in das Endstück der Welle statt findet. Dies kann bewirkt werden, wenn man, wie bei Fig. 61 und 62, den äusseren Nerven eine in die Endstücke übergehende Krümmung gibt; weil aber dadurch die Welle geschwächt wird, so muss man die aussen weggenommene Masse wieder zu ersetzen suchen, was auf zweierlei Weise geschehen kann, indem man entweder den runden mittleren Kern von der Mitte an nach aussen zu konisch zunehmen lässt, wie bei Fig. 61, oder indem man, wie bei Fig. 62, den mittleren Theil cylindrisch lässt, und die Dicke der Nerven von der Mitte nach aussen zu allmählig stärker werden lässt.

Gewöhnlich findet man bei ausgeführten Rädern die Form Fig. 61, die Form Fig. 62 verdient aber in so fern vorgezogen zu werden, als sie gefälliger ist.

Nach den Bezeichnungen, welche in Fig. 63 angegeben sind, ist das Elastizitätsmoment für den mittleren Querschnitt der Welle

$$M = \frac{\pi}{6 h} \left[0.589 D_1^4 + (h^2 - D_1^2) e + (h - D_1) e^3 \right]$$

wobei π den Coefficienten für die respektive Festigkeit bezeichnet.

Es ist aber auch, weil der Querschnitt D dem gleichen Moment zu widerstehen hat:

$$M = \frac{\pi}{32} D^3$$

demnach erhält man:

$$D^3 \frac{\pi}{32} = \frac{1}{6} h \left[0.589 D^3 + (h^3 - D_1^3) e + (h - D_1) e^3 \right]$$

$$= \frac{e^3}{6} \left[0.589 \left(\frac{D_1}{e} \right)^3 + \left(\frac{h}{e} \right)^3 - \left(\frac{D_1}{e} \right)^3 + \frac{h}{e} - \frac{D_1}{e} \right] \left(\frac{e}{h} \right)$$

und daraus folgt:

$$\frac{D}{e} = \sqrt[3]{\frac{32}{6\pi} \left[0.589 \left(\frac{D_1}{e} \right)^3 + \left(\frac{h}{e} \right)^3 - \left(\frac{D_1}{e} \right)^3 + \frac{h}{e} - \frac{D_1}{e} \right] \frac{e}{h}}$$

Vermittelt dieses Ausdrucks wird der Werth von $\frac{D}{e}$ bestimmt, wenn man in dem selben für $\frac{D_1}{e}$ und für $\frac{h}{e}$ passende Verhältnisszahlen substituirt.

Diese letzteren müssen, damit die Welle eine gefällige Form erhält, je nach der Entfernung der Rosetten gewählt werden. Man erhält jederzeit eine gefällige Form, wenn man nimmt:

$$\frac{h}{e} = 4.5 + 1.5 L$$

$$\frac{D_1}{e} = 4.75 - 0.75 L$$

wobei L die in Metern ausgedrückte Entfernung der Rosetten bezeichnet.

Das Verfahren zur Berechnung aller wesentlichen Querschnittsdimensionen der Welle ist nun folgendes:

Man bestimmt zuerst das Gewicht G der Construction ohne Zahnkranz, so wie auch das Gewicht Z dieses letzteren; dann geben die Gleichungen (Seite 167) den Durchmesser d und die Länge e des Zapfens; hierauf berechnet man vermittelt der Gleichung (Seite 170) den Durchmesser D. Sodann bestimmt man vermittelt der obigen Gleichungen die Verhältnisse $\frac{h}{e}$ und $\frac{D_1}{e}$ und substituirt dieselben in den Ausdruck für $\frac{D}{e}$, so erhält man den Werth von $\frac{D}{e}$ und da D bereits bekannt ist, so hat man auch den Werth von e, welcher mit den bereits berechneten Werthen von $\frac{h}{e}$ und $\frac{D_1}{e}$ multiplicirt, auch den Werth von h und von D₁ liefert. Sind einmal die Dimensionen d, e, l, D, D₁, h, e bekannt, und in der Zeichnung aufgetragen, so hat man hinreichende Anhaltspunkte, um die vollständige Verzeichnung der Welle nach dem Gefühle auszuführen. Wenn man die beiden Hälften der Welle übereinstimmend macht, so ist diejenige Hälfte, welche der Seite des Rades angehört, an welcher sich in der Wirklichkeit kein Zahnkranz befindet, etwas zu stark. Will man auch diese Seite den daselbst wirkenden Lasten entsprechend machen, so muss man ihre Querschnittsdimensionen nach den angegebenen Formeln berechnen, indem man Z = 0 nimmt; und dann muss man bei der Verzeichnung der Welle den zwischen den Rosetten befindlichen Theil durch schickliche Uebergangsformen herzustellen suchen. Für die Ausführung ist es aber zweckmässiger, die beiden Hälften der Welle in jeder Hinsicht übereinstimmend zu machen.

Damit die Dimensionen der Welle bei vollkommener Sicherheit möglichst klein ausfallen, ist es sehr wichtig, dass die Zapfen so nahe als möglich an den Rosetten angenommen werden, so dass also der Werth von l möglichst klein ausfällt, denn so wie l gross ist, werden es auch alle übrigen Grössen D, e, h, D₁, und die Welle wird dann schwer. Der kleinste Werth von l wird durch die Breite des Zahnkranzes bestimmt.

Bei ausgeführten Rädern ist fast immer der äussere Theil zwischen dem Zapfen und der Rosette nur wenig stärker als der Zapfen selbst, daher zu schwach, was auch die Erfahrung bestätigt hat, denn es sind schon oftmals Wasserradswellen in diesem Theile gebrochen.

Zur Bestimmung der untergeordneten Dimensionen eines Rades kann man sich an die nachstehenden Regeln halten.

Rosetten.

Nennt man a den Durchmesser des Wasserradzapfens, h die grössere von den Querschnittsdimensionen eines Radarms, so ist:

A) die Länge einer Armhülse an der Rosette:

a) für Räder mit steifen Armen, nach Bauart 1 und 2, = 2 h bis 2.4 h;

b) für Räder mit hölzernen Tragarmen nach Bauart 3, = 4 h;

c) für Räder mit schmiedeisernen Tragarmen gleich 6 Stangen Durchmesser.

B) Metalldicke der Rosettenhülse, welche zum Aufkeilen der Rosette dient:

$$= \frac{1}{3} a + 0.5.$$

C) Länge dieser Hülse 1.2 a bis 1.6 a.

Kegelkränze.

Radiale Dimension eines Kegelkranzes sowohl für Eisen als auch für Holz	$\frac{1}{3} a$
Dicke des Kranzes	für Holz $\frac{1}{3} a$
	für Eisen $\frac{1}{20} a$

Radkränze für Zellenräder.

Hölzerne Kränze	Dicke der inneren Felgen $\frac{a}{6}$
	Dicke der äusseren Felgen $\frac{a}{7}$
Eiserne Seitengetäfer, Dicke derselben	$\frac{a}{25}$ bis $\frac{a}{20}$

Schaufel- und Zellenbretter.

Dicke der hölzernen Schaufelbretter	$\frac{a}{14}$ bis $\frac{a}{11}$
-------------------------------------	-----------------------------------

Dicke des Kübelbodens	$\frac{a}{8}$
Dicke der äusseren Kübelwand	$\left\{ \begin{array}{l} \text{in der Mitte von } a \frac{a}{8} \\ \text{am Umfang des Rades } \frac{a}{10} \end{array} \right.$

Radboden.

Dicke des Radbodens bei Schaufelrädern	$\frac{a}{15}$ bis $\frac{a}{11}$
Dicke des Radbodens bei Kübelrädern	$\frac{a}{7}$

Gerinnboden.

Dicke der Gerinnböden	$\frac{a}{10}$
---------------------------------	----------------

SECHSTER ABSCHNITT.

WEHRE UND KANÄLE.

Die natürlichen Gefälle der Bäche und Flüsse sind meistens mit der Jahreszeit veränderlich, haben oftmals nicht die wünschenswerthe Grösse und sind fast nie an einen bestimmten Ort concentrirt, wie es zum Betriebe eines Wasserrades nothwendig ist. Man kann desshalb die natürlichen Gefälle fast nie unmittelbar benutzen, sondern sie müssen erst durch einen geeigneten Wasserbau in künstliche Wasserfälle verwandelt werden, was in der Regel entweder durch ein Wehr oder durch einen Kanal oder endlich durch die vereinte Anwendung eines Wehres und Kanales geschieht.

Unter welchen Umständen die Anlage eines Wehres nothwendig, und unter welchen Umständen dieselbe zweckmässig ist.

Der Bau eines Wehres ist nur dann möglich, wenn es die Verhältnisse erlauben, dass auf eine längere Strecke der Wasserspiegel über seinen natürlichen Stand gehoben werden darf.

Der Bau eines Wehres ist unter folgenden Umständen nothwendig oder zweckmässig: 1) wenn kein natürliches Gefälle vorhanden ist, und ein künstliches Gefälle hervorgebracht werden soll; 2) wenn das vorhandene natürliche Gefälle nicht die wünschenswerthe Grösse hat, daher durch einen künstlichen Bau vermehrt werden soll; 3) wenn in dem Elusse oder Bache auf eine kurze Strecke ein starkes Gefälle vorhanden ist, das auf einen Punkt concentrirt werden soll; 4) wenn die Veränderungen des Wasserstandes eines Flusses oder Baches vermindert oder aufgehoben werden sollen; 5) wenn das Gefälle, welches durch die Stauung des Wassers hervorgebracht werden soll, nicht zu gross ist und höchstens 2.5^m beträgt; 6) wenn zwei oder mehrere von den so eben angeführten Umständen vorhanden sind.

Unter welchen Umständen soll ein Kanal angelegt werden?

Ein Kanal soll angelegt werden, 1) wenn es die Lokalverhältnisse nicht erlauben, das Rad in das Flussgebiet zu verlegen; 2) wenn das Wasserrad und das zu betreibende Werk gegen die Einwirkung der Hochwasser geschützt werden sollen; 3) wenn das zu betreibende Werk wegen bestehender Eigenthums- oder Lokalverhältnisse an einem gewissen Orte in der Nähe des Flusses erbaut werden muss, nach welchem Orte ein Kanal geführt werden kann; 4) wenn ein bedeutenderes Gefälle, welches ein Bach oder ein Fluss auf einer langen Strecke des Laufes darbietet, zum Betriebe eines Werkes benutzt werden soll.

Unter welchen Umständen soll ein Kanal und ein Wehr gebaut werden?

Die vereinte Anordnung eines Wehres und eines Kanales kann 1) nothwendig, 2) wünschenswerth, 3) unnöthig sein.

Sie ist nothwendig, wenn überhaupt die Umstände von der Art sind, dass sie sowohl auf den Bau eines Wehres, als auch auf jenen eines Kanals entschieden hinweisen. Sie ist in der Regel wünschenswerth, wenn ein Kanal angelegt werden muss, damit das Wasser leichter und gleichförmiger in den Kanal eintritt. Sie ist endlich unnöthig, wenn mit einem Wehre allein der Zweck erreicht werden kann, und wenn das Werk in den Fluss hineingebaut werden muss.

Eintheilung der Wehre.

Die Wehre werden eingetheilt in 1) vollkommene Wehre oder Ueberfallwehre, 2) unvollkommene Wehre oder Grundwehre, 3) Schleussenwehre, 4) combinirte Wehre aus Ueberfällen und Schleussen. Die ersteren werden durch einen dammartigen, quer über den Fluss sich erstreckenden Einbau mit horizontalem Scheitel gebildet, welcher höher liegt als der Wasserspiegel im Flusse vor dem Einbau. Grundwehre werden ähnliche Einbauten von kleinerer Höhe genannt, wenn der Scheitel niedriger liegt, als der ungestaute Wasserspiegel vor dem Einbau. Schleussenwehre können alle diejenigen Einbauten genannt werden, deren stauende Wirkung nach Belieben regulirt oder ganz beseitigt werden kann. Gewöhnlich bestehen sie aus einem oder aus mehreren nach vertikaler Richtung beweglichen Schiebern, welche, wenn sie niedergelassen sind, das Wasser im Flusse zurückhalten, es aber, wenn sie mehr oder weniger aufgezogen werden, in grösserer oder geringerer Quantität an ihrer unteren Kante austreten lassen. Auf diese Weise kann durch ein Schleussenwehr der Wasserstand vor demselben immer auf einer gewissen Höhe erhalten werden, vorausgesetzt, dass der Wasserzufluss nicht gar zu veränderlich ist. Was unter einem combinirten Wehr zu verstehen ist, bedarf keiner Erklärung.

Umstände, welche bestimmen, was für ein Wehr erbaut werden soll.

Ein Grundwehr wird angelegt, wenn die Wassermenge nicht bedeutend veränderlich und die Stauung, welche durch das Wehr hervorgebracht werden soll, nicht bedeutend ist.

Ein vollkommenes Ueberfallwehr wird angelegt, wenn die Wassermenge nicht bedeutend veränderlich und die hervorzubringende Stauung gross ist.

Ein Schleussenwehr wird angelegt, wenn bei höchstem Wasserstand die Lokalverhältnisse gar keine Stauung gestatten.

Ein Ueberfall-Schleussenwehr wird angelegt, wenn bei einem sehr veränderlichen Wasserzufluss der Wasserstand ober dem Wehr immer nahe auf derselben Höhe erhalten werden soll.

In den meisten Fällen weisen die Umstände auf ein Ueberfall-Schleussenwehr hin.

Genaue Entscheidung der Frage, ob ein Grund- oder ein Ueberfallwehr angelegt werden soll.

Es sei:

- a die Stauung, welche durch das Wehr hervorgebracht werden soll;
- b die Breite des Wehres, welche in der Regel mit jener der Flussbreite übereinstimmt, manchmal aber auch grösser angenommen wird;
- Q die Wassermenge, welche in jeder Sekunde über das Wehr abfliessen soll.

Dies vorausgesetzt, ist die Wassermenge, welche bei einer Stauung h über ein Wehr von der Breite b abfliessen würde, dessen Krone bis zu dem vor dem Einbau vorhandenen Wasserspiegel reichen würde, Fig. 64,

$$Q = 0.57 b h \sqrt{2 g h}$$

Ist nun diese Wassermenge genau $\frac{Q}{a}$, so muss die Krone des zu erbauenden Wehres bis an den ursprünglich vorhandenen Wasserspiegel reichen. Ist dagegen obige Wassermenge grösser oder kleiner als Q, so muss im ersteren Falle ein vollkommenes Ueberfallwehr, und im letzteren ein Grundwehr angelegt werden.

Die Höhe eines vollkommenen Ueberfallwehrs, Fig. 65, wird auf folgende Art berechnet:

Es sei a b das Bett des Flusses, a₁ b₁ die Oberfläche des Wassers vor dem Einbau, D A die Tangente an die gestaute Oberfläche des Wassers, A C = h die hervorzubringende Stauung, A B = x die Höhe des gestauten Wasserspiegels in einiger Entfernung von dem Wehr über dem Scheitel des letzteren, b die Breite des Wehrs.

Dies vorausgesetzt ist:

$$Q = 0.57 b x \sqrt{2 g x}$$

und daraus folgt:

$$x = \left(\frac{Q}{0.57 b \sqrt{2 g}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Die Werthe von x und Q kann man auch mittelst der Tabelle III. bestimmen, mit welcher das Buch schliesst.

Ist x bestimmt, so hat man für die Höhe der Krone über dem ursprünglichen Wasserstand $a, b, h - x$.

Die Höhe $B E$ des Wasserstandes unmittelbar über dem Scheitel des Wehres ist annähernd

$$B E = \frac{4}{5} x$$

Die Höhe eines Grundwehres wird auf folgende Weise bestimmt. Es sei $A C = h$ die Stauung, welche durch das Wehr hervorgebracht werden soll. $C B = x$ die Tiefe der Wehrkrone unter dem ursprünglichen Wasserspiegel, b die Breite des Wehres, Q die Wassermenge in Kubikmetern, welche in 1 Sekunde über das Wehr abfließen soll. Dies vorausgesetzt, ist nach bekannten Regeln

$$Q = 0.57 b h \sqrt{2 g h} + 0.62 b x \sqrt{2 g h}$$

und daraus folgt:

$$x = \frac{Q - 0.57 b h \sqrt{2 g h}}{0.62 b \sqrt{2 g h}}$$

oder auch

$$x = \frac{Q}{0.62 b \sqrt{2 g h}} - 0.92 h$$

Die Stauweite, das heisst die Entfernung, auf welche sich die Stauung stromaufwärts erstreckt, kann durch einfachere Formeln nicht genau berechnet werden. Als Schätzung kann folgende Rechnung dienen:

Nennt man α den Neigungswinkel der Oberfläche des Wassers vor dem Einbau stromaufwärts von dem Querschnitte an, in welchen das Wehr erbaut werden soll und betrachtet die gestaute Wasserfläche als eine horizontale Ebene, so ist die Stauweite

$$h \cotg \alpha$$

Zu einer genaueren Bestimmung dieses Elementes muss man zu dem weitläufigen von Belanger und Navier aufgestellten Verfahren seine Zuflucht nehmen.

Berechnung eines Ueberfall-Schleussen-Wehres.

Nehmen wir an, die beiden Wehre sollen eines neben dem andern quer über dem Strom angelegt werden.

Nennen wir

- q die Wassermenge, welche bei dem kleinsten Wasserstande über das Ueberfallwehr abfließen soll;
- Q die Wassermenge, welche bei Hochwasser über das Ueberfallwehr und durch die ganz geöffnete Schleuse abfließen soll;
- b die Summe der Breiten beider Wehre;
- y die Breite der Schleuse;

H die Stauung bei dem kleinsten Wasserstande;

h den Unterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Wasserstande, welcher oberhalb des Wehres eintreten darf;

h_1 den Unterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Wasserstande unterhalb des Wehres;

x die Tiefe der Krone des Ueberfallwehres unter dem oberen Wasserspiegel beim kleinsten Wasserstande, wenn die Wassermenge q über das Ueberfallwehr abfließt.

Vorausgesetzt, dass das Wehr einen vollkommenen Ueberfall bildet, und dass die Grundschwelle der Schleuse mit dem höchsten Wasserstand unterhalb des Wehres zusammenfällt, hat man die Gleichungen

$$q = 0.57 (b - y) x \sqrt{2 g x}$$

$$Q = 0.57 (b - y) (x + h) \sqrt{2 g (x + h)} +$$

$$+ 0.57 y (H + h - h_1) \sqrt{2 g (H + h - h_1)}$$

aus welchen die Werthe von x und y am leichtesten durch Versuche bestimmt werden, indem man für x einen Werth annimmt, dann aus der ersten Gleichung den Werth von y sucht, und dann nachsieht, ob diese Werthe von x und y auch der zweiten Gleichung genügen u. s. f.

Führung der Kanäle.

Um mit einem möglichst kurzen Kanale ein Gefälle von wünschenswerther Grösse zu erhalten, sucht man immer solche Strecken zu wählen, auf welchen im Flusse ein starkes relatives Gefälle vorhanden ist. Ist das umliegende Land eben, so eignen sich zur Anlage eines Kanales vorzugsweise Flusskrümmungen mit starkem relativem Gefälle. Der Kanal wird in diesem Falle, so weit es die Lokal- und Eigenthumsverhältnisse erlauben, auf der concaven Seite des Flusses in möglichst gerader Linie geführt.

Die wichtigsten Bestimmungen, welche bei der Anlage eines solchen Kanales vorkommen, sind 1) die Ein- und Ausmündungspunkte, 2) die Verbindungslinie zwischen diesen Punkten, 3) der Ort des Kanals, an welchem das Werk anzulegen ist.

Die Ein- und Ausmündungspunkte werden vorzugsweise durch das Gefälle bestimmt, welches hervorgebracht werden soll. Die Verbindungslinie dieser Punkte richtet sich, wie schon gesagt, nach den Lokal- und Eigenthumsverhältnissen.

Die Baustelle für das Fabrikgebäude richtet sich theils nach Eigenthums-, theils nach Terrainverhältnissen. In flacheren Gegenden ist es in der Regel am zweckmässigsten, wenn das Werk in der Nähe der Einmündung des Kanales angelegt wird, so dass also der Obergraben kurz und der Untergraben lang ausfällt. Die Gründe, welche für eine solche Anlage sprechen, sind folgende:

1) Ist der Obergraben kurz, so befindet sich die Einlassschleuse des Kanals in der Nähe der Fabrik. Das Aufziehen, Abstellen, Reinigen, und überhaupt die Beaufsichtigung und Bedienung der Schleuse kann also dann mit wenig Zeitverlust und sehr prompt geschehen.

2) Im Obergraben bildet sich im Winter gewöhnlich Grundeis, insbesondere dann, wenn die Wassertiefe in demselben nicht gross ist. Dieses Grundeis muss in der Regel weggeschafft werden, und je kürzer der Obergraben ist, desto geringer ist die aus dem Kanal zu entfernende Quantität Eis.

3) Im Untergraben bildet sich, wegen den wärmeren Horizontalwassern, welche in denselben eindringen, nicht leicht Grundeis, und wenn es sich auch bildet, kann es nicht leicht Störungen im Gang der Maschine verursachen, braucht daher nicht entfernt zu werden.

4) Die Veränderungen des Wasserstandes im Flusse verursachen, wenn der Untergraben lang ist, nur eine geringe, wenn derselbe aber kurz ist, eine bedeutende Stauung des Wassers am Anfange des Untergrabens, wodurch das nutzbare Gefälle vermindert wird.

5) Die wasserdichte Herstellung der Kanaldämme des Obergrabens ist gewöhnlich mit vielen Schwierigkeiten verbunden, und im Winter werden diese Dämme, wenn sie nicht hinreichend hoch und breit sind, durch Einfrieren zerrissen. Die Böschungen des Untergrabens dagegen brauchen nicht wasserdicht zu sein, und das wärmere Horizontalwasser, welches sie durchdringt, schützt sie auch gegen das Einfrieren.

6) In der Regel fällt das Terrain nach der Richtung des Kanalzuges, und dann kostet die Anlage mit einem kurzen Ober- und langen Untergraben weniger, als wenn das umgekehrte Verhältniss in der Länge dieser Gräben gewählt wird.

In Gebirgsgegenden ist es dagegen in der Regel am zweckmässigsten, den Kanal an den Bergabhängen bis an das Fabrikgebäude fortzuführen, und das Wasser von der Kraftmaschine weg in einem kurzen Abflusskanal mit starkem relativem Gefälle wiederum in den Fluss zu leiten.

Geschwindigkeit des Wassers im Kanale.

Die Geschwindigkeiten der Wassertheilchen in den verschiedenen Punkten eines und desselben Querschnittes sind nicht gleich gross. Bei einem geraden Kanal mit regelmässigem Querschnitt ist die Geschwindigkeit in der Mitte der Oberfläche des Wassers am grössten, von da an nimmt sie sowohl nach der Tiefe als auch den Ufern zu ab.

Ein genaues Gesetz zur Bestimmung der Geschwindigkeit in einen beliebigen Punkt des Querschnitts ist nicht bekannt. Aus den Versuchen von *Dubuat* hat *Prony* folgende Beziehungen aufgefunden:

Nennt man

- U die grösste Geschwindigkeit in der Mitte der Oberfläche des Wassers,
- w die Geschwindigkeit an dem Grundbett,
- u die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im Querschnitt, so ist:

$$u = \frac{U(U + 2.37)}{U + 3.15}$$

$$w = 2u - U$$

Für die Geschwindigkeiten von 0.3^m bis 1^m, welche gewöhnlich bei Kanälen vorkommen, findet man aus der ersten dieser Formeln:

$$u = 0.8 U$$

und dann wird

$$w = 0.6 U = 0.75 u$$

$$u = \frac{4}{3} w = 0.8 U$$

Am Grundbette des Kanals darf die Geschwindigkeit des Wassers eine gewisse Grenze nicht überschreiten, weil sonst das Bett angegriffen und aufgewühlt wird. Diese Grenze richtet sich nach der Beschaffenheit des Materials, aus welchem der Kanal besteht. Sie ist nach *Telford* für

Aufgelöste Erde	0.076 ^m
Fetten Thon	0.152 ^m
Sand	0.305 ^m
Kies	0.609 ^m
Abgerundete Kieselsteine	0.914 ^m
Eckige Kieselsteine	1.22 ^m
Conglomerate	1.52 ^m
Geschichtete Felsen	1.83 ^m
Ungeschichtete Felsen	3.05 ^m

Für Kanäle, welche aus einem der ersteren dieser Materialien hergestellt werden sollen, muss man wohl die grössten Geschwindigkeiten in Rechnung bringen, welche diesen Materialien entsprechen, denn die grössten Geschwindigkeiten sind schon so klein, dass mit denselben die Querschnittsdimensionen des Profils bereits sehr gross ausfallen. Die Geschwindigkeiten am Grundbett können dagegen kleiner als die oben angegebenen Werthe angenommen werden, wenn es sich um lange Kanäle handelt, die aus einem der haltbareren Materialien ausgeführt werden sollen, denn die Gefällverluste würden bei langen Kanälen zu gross ausfallen, wenn man, in der Absicht, ein möglichst kleines Querprofil zu erhalten, die grössten Geschwindigkeiten in Rechnung bringen würde. In den gewöhnlicheren Fällen darf man die Geschwindigkeit am Grundbett annehmen:

	Werthe von w .	entsprechende Werthe von u .
Für aufgefüllte oder gegrabene Kanäle . . .	0.3 ^m bis 0.6 ^m	0.4 ^m bis 0.8 ^m
Für hölzerne oder gemauerte Kanäle . . .	0.6 ^m bis 1 ^m	0.8 ^m bis 1.3 ^m

Querprofil des Kanals.

Aus der mittleren Geschwindigkeit u , welche das Wasser im Kanale annehmen soll, und aus der Wassermenge Q , welche in 1 Secunde fortgeleitet werden soll, ergibt sich der Querschnitt Ω des Wasserkörpers im Kanale. Es ist nämlich

$$\Omega = \frac{Q}{u}$$

Die Gestalt des Querschnittes richtet sich theils nach dem Material, theils nach der Wassermenge. Hölzerne und gemauerte Kanäle erhalten rechtwinklige, aufgefüllte Kanäle symmetrisch dossirte trapezförmige Profile. Die Dossirung kann, wenn sie mit Steinen gepflastert wird, 60° betragen, ist sie aber aus gestampfter Erde, so darf sie höchstens 45° betragen.

Das relative Gefälle, welches das Wasser im Kanal haben muss, wenn es mit einer gewissen Geschwindigkeit fortfließen soll, und folglich auch der Gefällsverlust, welchen der Kanal verursacht, hängt einerseits von der Geschwindigkeit u , andererseits von dem Verhältniss ab zwischen dem Inhalt des Querschnitts des Wasserkörpers und dem Theile seines Umfanges, welcher mit dem Kanale in Berührung steht, welchen Theil man den „benetzten Umfang“ zu nennen pflegt.

Je kleiner dieses Verhältniss ist, desto geringer ist der Gefällsverlust. In dieser Hinsicht wären das halbe Quadrat und das halbe reguläre Sechseck die zweckmässigsten Profilformen; allein sie können wenigstens bei grösseren Wassermengen nicht angewendet werden, weil es in diesem Falle sehr schwierig ist, die Kanäle wasserdicht herzustellen, indem ihre Tiefe zu gross ausfällt. Wegen dieses Umstandes ist es überhaupt nicht möglich, eine rationelle Regel für das Verhältniss der Breite und Tiefe des Wasserkörpers aufzustellen, man muss sich daher mit einer empirischen Regel begnügen.

Durch Vergleichung der Dimensionen von ausgeführten Kanälen habe ich gefunden, dass man nehmen darf, Fig. 67:

$$\frac{b}{t} = 2.7 + 0.9 \Omega$$

wobei b die Breite des Grundbettes, t die Wassertiefe und Ω den Querschnitt des Wasserkörpers bedeutet. Bezeichnet man den Böschungswinkel mit α , so ist:

$$\Omega = b t + t^2 \cotg \alpha = t^2 \left(\frac{b}{t} + \cotg \alpha \right)$$

man erhält demnach:

$$t = \sqrt{\frac{\Omega}{\frac{b}{t} + \cotg \alpha}}$$

und wenn t berechnet ist, ergibt sich b aus:

$$b = \left(\frac{b}{t} \right) t$$

Um die Querschnittsdimensionen eines Kanales zu berechnen, für welchen Q , u , α gegeben ist, bestimme man zuerst den Werth von Ω , dann den Werth von $\frac{b}{t}$, hierauf findet man den Werth von t und endlich b .

Das Längenprofil des Kanales.

Um eine gleichförmige Bewegung des Wassers im Kanale hervorzubringen, welcher bei durchaus gleichen Profilen einer unveränderlichen Wassertiefe entspricht, muss das relative Gefälle des Kanalbettes so gross sein, dass dadurch der Reibungswiderstand des Wassers an dem benetzten Umfang überwunden wird.

Zur Bestimmung dieses Gefälles hat man nach den Untersuchungen und Erfahrungen von *Prony* folgende Formel:

$$\frac{G}{L} = \frac{S}{\Omega} (0.0000444 u + 0.000309 u^2)$$

in welcher bedeutet:

G das totale Gefälle des Kanals,

L die Länge des Kanals,

Ω den Querschnitt des Wasserkörpers,

$S = b + \frac{2t}{\sin \alpha}$ den benetzten Umfang,

u die mittlere Geschwindigkeit, welche das Wasser im Kanale annehmen soll.

Wenn es sich darum handelt, durch den Kanal möglichst wenig an Gefälle zu verlieren, muss man demselben der ganzen Ausdehnung nach das relative Gefälle $\frac{G}{L}$ geben, welches durch die letzte Gleichung bestimmt wird, und die Wasserspiegel an den Ein- und Ausmündungen müssen in diesem Falle mit jenen, welche in dem Flusse vorhanden sind, übereinstimmen.

Gestatten aber die Verhältnisse, dass durch den Kanal einiger Gefällsverlust entstehen darf, so ist es gut, wenn man den Wasserspiegel an der Einmündung etwas unter dem tiefsten Wasserstand des Flusses annimmt, und der ersten Strecke des Zuflusses so wie der letzten Strecke des Abflusskanals ein stärkeres relatives Gefälle gibt, als den übrigen Theilen des Kanals, weil dadurch der Zu- und Abfluss des Wassers erleichtert wird. Am Anfange des Kanals muss zur Regulirung des Wasserzuflusses eine Schleusse angebracht werden, und unmittelbar vor dem Wasserrade ist eine zweite Schleusse nothwendig, durch welche das Ueberwasser (d. h. die Differenz zwischen der zufließenden Wassermenge und derjenigen, welche auf das Rad zu wirken hat) nach einem Leerkanal abfließen kann. Diese Schleusse und der Leerkanal sind insbesondere auch nothwendig, wenn das Rad abgestellt wird. Denn die Schleusse am Anfang des Kanals wird immer erst abgestellt, nachdem dies mit dem Rade geschehen ist, es muss also das in der Zwischenzeit in den Kanal eintretende Wasser irgend wo abfließen können. Gesetzt aber auch, dass die Schleusse am Anfang des Kanals gleichzeitig oder etwas früher als das Rad abgestellt würde, so wäre doch auch in diesem Falle ein Leergewinne mit Schleusse unmittelbar vor dem Rade nothwendig, weil das Wasser, nachdem die Einmündungsschleusse geschlossen worden ist, seine Bewegung im Kanale vermöge der Trägheit noch weiter fortsetzt, sich daher vor dem Rade sammeln und aufstauen würde, wenn daselbst keine Abflussöffnung angebracht würde.

Anwendung der Regeln über den Wehr- und Kanalbau.

In einer Krümmung eines Flusses sei (beim niedrigsten Wasserstand) zwischen zwei Punkten, deren Horizontalabstand 952^m beträgt, ein natürliches Gefälle von 2·6^m vorhanden. Man beabsichtigt daselbst eine grössere Fabrik anzulegen, welche zu ihrem Betriebe einen absoluten Effekt von 80 Pferdekraften bedarf. Die Terrainverhältnisse sind folgendermassen beschaffen. Das concave Ufer sei steil und hoch, das convexe dagegen flach und das umliegende Terrain liege 1 bis 2^m über dem Spiegel des Flusses. Stromaufwärts sei diese Höhe grösser als stromabwärts. Das relative Gefälle des Terrains (welches nach diesen Angaben grösser ist, als jenes von dem Flusse) sei zwischen den Punkten, deren Horizontalabstand oben angegeben wurde, nahe von unveränderlichem Werth. Es sei gestattet, den Kanal geradlinig zu führen, und das Fabrikgebäude nach einem beliebigen Punkt des Kanals zu verlegen. Die Wassermenge des Flusses sei beim niedrigsten Stande 2·36^{km}, beim höchsten Stande 6·34^{km}, die Differenz dieser Wasserstände sei 0·43^m.

Es sei gestattet, das Wasser 1^m über seinen höchsten Stand zu stauen. Die Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Wasserstand oberhalb des Wehres soll nur 0·24^m betragen. Die Breite des Flussbettes sei, da wo das Wehr anzulegen ist, 10^m.

Unter diesen Verhältnissen ist klar, dass sowohl ein Wehr als auch ein Kanal angelegt werden muss. Die Wasserkraft, welche gewonnen werden soll, ist so bedeutend, dass sie mit dem vorhandenen natürlichen Gefälle nicht hervorgebracht werden kann, denn der Bau, wie er auch eingerichtet werden mag, verursacht doch immer einigen Gefällsverlust; mit dem natürlichen Gefälle von 2·6^m würde man daher nur ein nutzbares Gefälle von ungefähr 2^m erhalten, und dann wäre eine Wassermenge von 3^{km} nothwendig, die der Fluss beim niedrigsten Wasserstand gar nicht darbietet. Da die Wassermenge beim tiefsten Stande 2·36^{km} beträgt, so muss die Anlage so eingerichtet werden, dass man unter allen Umständen mit 2^{km} Wasser zum Betriebe der Fabrik ausreicht. Diese Wassermenge erfordert aber zu einem absoluten Effekt von 80 Pferdekraften ein Gefälle von $\frac{75 \times 80}{2 \times 1000} = 3^m$, das natürliche Gefälle muss also noch durch ein Wehr vergrössert werden. Mit einem Wehr allein kann aber der Zweck nicht erreicht werden, denn das concave Ufer müsste, da es nur 1 bis 2^m hoch ist, der ganzen Länge nach mit einem Damm versehen werden, um das umliegende Terrain zu schützen, und das Wehr müsste die bedeutende Höhe von ungefähr 3·5^m erhalten. Ein Kanal, welcher das vorhandene natürliche Gefälle concentrirt, in Verbindung mit einem Wehr, um das natürliche Gefälle zu erhöhen, ist also ohne Zweifel der zweckmässigste Bau. Nachdem nun wenigstens im Allgemeinen entschieden ist, was gebaut werden soll, so muss nun weiter das Wie? erwogen werden, und zwar zuerst in Bezug auf den Kanal.

Damit das Wasserrad bei jedem Wasserstand mit 2 Kubikmeter Wasser den vorgeschriebenen Effekt hervorbringen kann, dürfen die Schaufeln des Rades nie mehr als bis zur Hälfte im Unterwasser eintauchen. Nun wird die radiale Dimension der Schaufeln nach der, Seite 138, angegebenen Regel 0·55^m; die Schaufeln dürfen also beim höchsten

Wasserstand nur $\frac{1}{2} 0·55^m = 0·28^m$ tief tauchen, und da der Wasserstand im Flusse um 0·43 variirt, so muss der tiefste Punkt des Rades $0·43^m - 0·28^m = 0·15^m$ über dem tiefsten Spiegel des Unterwassers angenommen werden.

Um sicher zu gehen, dass beim niedrigsten Wasserstand die vorgeschriebene Wassermenge ohne Schwierigkeit in den Kanal eintreten werde, ist es gut, wenn wir den Wasserspiegel in dem Kanale etwas, z. B. um 0·2^m unter dem Spiegel im Flusse annehmen.

Da wir schon dafür gesorgt haben, dass die Tauchung des Rades nie zu gross werden kann, so ist kein Grund vorhanden, das relative Gefälle im Abflusskanal grösser anzunehmen, als im Zuflusskanal, wir können daher, um die Summe der Gefälle zu bestimmen, welche der Zufluss- und der Abflusskanal erhalten müssen, die totale Länge der ganzen Anlage nebst einer angemessenen mittleren Geschwindigkeit in Rechnung bringen.

Für $Q = 2$, $u = 0·5$, $\alpha = 45^\circ$, $L = 9552$ wird

$$\Omega = \frac{Q}{u} \dots \dots \dots = 4^m$$

$$\frac{b}{t} = 2·7 + 0·9 \Omega \dots \dots \dots = 6·3$$

$$t = \sqrt{\left(\frac{\Omega}{\frac{b}{t} + \cotg \alpha} \right)} \dots \dots \dots = 0·74^m$$

$$b = \left(\frac{b}{t} \right) t \dots \dots \dots = 4·66^m$$

$$S = b + \frac{2t}{\sin \alpha} \dots \dots \dots = 6·75^m$$

$$\frac{G}{L} = \frac{S}{\Omega} [0·0000444 u + 0·000309 u^2] = 0·000168$$

$$G \dots \dots \dots = 0·16^m$$

Beim niedrigsten Wasserstand muss also der Spiegel oberhalb des Wehres um $0·15^m + 3^m + 0·16^m + 0·2^m = 3·51^m$ höher liegen, als der Spiegel im Flusse an der Ausmündung des Kanals, und da das natürliche Gefälle 2·6^m beträgt, so ist die Stauung, welche durch das Wehr beim Niederwasser hervorzubringen ist, $3·51^m - 2·60^m = 0·91^m$.

Hinsichtlich des Kanals ist nun noch der Punkt zu bestimmen, nach welchem die Fabrik verlegt werden soll. Wenn nur allein die Kosten der Ausführung zu berücksichtigen sind, so muss man diesen Punkt so zu wählen suchen, dass die sämtlichen Kosten der Erdarbeiten möglichst klein ausfallen. In sehr vielen Fällen ist dies dann der Fall, wenn Auf- und Abtrag gleich gross werden, d. h. wenn das Volumen der auszugrabenden Erde ebenso gross ist, als das Volumen der Ausfüllungen. In unserem Beispiel fällt Auf- und Abtrag gleich gross aus, wenn der Abzugskanal nur 43^m, demnach der Zuflusskanal 909^m lang gemacht wird.

Wenden wir uns nun zur Berechnung des Wehres. Da der Wasserstand oberhalb

des Wehres nur um 0.24^m variiren darf, und die Wassermenge, welche über das Wehr abfliessen soll, beim Niederwasser 2.36 — 2 = 0.36^{km}, beim Hochwasser 6.34 — 2 = 4.34^{km} und die Breite des Flussbettes 10^m beträgt, so ist vorauszusehen, dass ein Ueberfallswehr ohne Schleusse breiter als der Fluss werden muss, um den Anforderungen entsprechen zu können. Dieses Wehr müsste demnach in schiefer Richtung über den Fluss gelegt werden. Da die Entscheidung der Frage: was gebaut werden soll, jederzeit von grosser Wichtigkeit ist, so wird es nicht unzweckmässig sein, in dem vorliegenden Falle genauer zu untersuchen, ob mit einem schiefen Ueberfallswehr ohne Schleusse der Zweck erreicht werden kann.

Nennen wir y die Breite, welche das Ueberfallswehr erhalten müsste, um den gestellten Bedingungen entsprechen zu können, x die Höhe des Wasserstandes über dem Scheitel des Ueberfalles, wenn die Wassermenge 0.36^{km} abfliesst, so ist $x + 0.24$ die Höhe, welche der Wassermenge 4.34 entsprechen soll, und man hat:

$$0.57 y x \sqrt{2 g x} = 0.36$$

$$0.57 y (x + 0.24) \sqrt{2 g (x + 0.24)} = 4.34$$

hieraus folgt durch Division:

$$\frac{(x + 0.24) \sqrt{x + 0.24}}{x \sqrt{x}} = 12.03$$

Der Werth von x , welcher dieser Gleichung entspricht, ist:

$$x = 0.058^m$$

und nun ergibt sich:

$$y = \frac{0.36}{0.57 \times \sqrt{2 g x}} = 10.3$$

Das Wehr muss demnach 10.3^m breit gemacht werden, was allerdings ausführbar ist. Die Höhe der Wehrkrone über dem tiefsten Wasserstand unter dem Wehr ist 0.91 — 0.058 = 0.852^m.

Beantwortung einer Frage über die vortheilhafteste Benutzung eines Wasserrechtes.

Es kommt in der Praxis oft vor, dass Jemand das Recht besitzt, aus einem Fluss ^a Fig. 68, 69 durch eine Schleusse ^c d von gesetzlich bestimmter Breite, und deren Fachbaum ^e in einer bestimmten Tiefe unter dem Wasserspiegel des Flusses liegt, so viel Wasser zu nehmen, als er nur immer erhalten kann, ohne in den Fluss einen Einbau machen zu dürfen, und es ist dann die Frage, wie der Wasserbau anzuordnen ist, um mit diesem Wasserbenutzungsrecht einen möglich grossen Nutzeffekt zu erhalten.

Bei einer oberflächlichen Betrachtung der vorliegenden Frage könnte man vielleicht meinen, die vortheilhafteste Anlage sei diejenige, bei welcher möglichst viel Wasser durch die Schleusse in den Kanal b eintritt, durch welchen das Wasser dem Rade zufliesst. Allein wenn man bedenkt, dass eine grosse Wassermenge nur dann erhalten werden kann, wenn der Wasserspiegel im Kanal b bedeutend tiefer steht, als im Flusse, also nur mit Aufopferung von Gefäll, so kommt man zu der Ueberzeugung, dass jene Meinung irrig ist, und dass es eine gewisse Wassermenge geben müsse, bei welcher der möglicherweise gewinnbare Nutzeffekt ein Maximum wird. Diese vortheilhafteste Anordnung wollen wir nun bestimmen.

Es sei

- b die Breite der Schleusse.
- h die Tiefe des Fachbaumes unter dem Spiegel des Wassers im Flusse.
- h_1 die Tiefe des Wasserstandes im Kanal b unter dem Wasserstand im Flusse.
- H das totale Gefälle, d. h. die Höhe des Wasserstandes im Flusse über dem Spiegel des Wassers im Abflusskanal des Rades.
- Q die Wassermenge in Kubikmetern, welche in 1 Secunde in den Kanal b eintritt und auf das Rad wirkt.
- E der absolute Effekt der Wasserkraft, welcher der Wassermenge Q und dem Gefälle $H - h_1$ entspricht

$m = 0.42$ } zwei Coefficienten zur Berechnung der Wassermenge Q .
 $m_1 = 0.62$ }

Der vortheilhafteste Werth von h_1 , um dessen Bestimmung es sich handelt, muss nothwendig gleich oder kleiner als h sein, denn die Wassermenge, welche in den Kanal eintreten kann, ist, wenn $h > h_1$ wäre, nicht grösser als wenn $h = h_1$ ist, dagegen ist, im ersteren Falle das nutzbare Gefälle ^{kleiner} grösser als im letzteren, wenn also $h_1 > h$ ist, so nimmt der Effekt fortwährend ab, je grösser h_1 wird, es muss also für das Maximum des Effectes $h_1 < \text{oder} = h$ sein. Innerhalb dieser Grenzen bildet aber der Wassereintritt einen unvollkommenen Ueberfall, und für diesen ist:

$$Q = m b h_1 \sqrt{2 g h_1} + m_1 b (h - h_1) \sqrt{2 g h_1}$$

oder:

$$Q = b [(m - m_1) h_1 + m_1 h] \sqrt{2 g h_1}$$

ferner ist:

$$E = 1000 Q (H - h_1)$$

folglich, wenn man für Q den vorhergehenden Werth substituirt:

$$E = 1000 b [(m - m_1) h_1 + m_1 h] \sqrt{2 g h_1} (H - h_1)$$

Für den vortheilhaftesten Werth von h_1 muss $\frac{dE}{dh_1} = 0$ sein; man erhält demnach zur Bestimmung dieses Werthes von h_1 die Gleichung:

$$0 = [(m - m_1) h_1 + m_1 h] [H - h_1] \frac{1}{2 \sqrt{h_1}} + \\ + (H - h_1) \sqrt{h_1} (m - m_1) - [(m - m_1) h_1 + m_1 h] \sqrt{h_1}$$

aus welcher folgt:

$$\frac{h_1}{h} = 0.3 \left[\frac{H}{h} - \frac{m_1}{m - m_1} \right] \pm \sqrt{0.09 \left[\frac{H}{h} - \frac{m_1}{m - m_1} \right]^2 + \frac{m_1}{5(m - m_1)} \frac{H}{h}}$$

Setzt man für m und m_1 die numerischen Werthe, so wird:

$$\frac{h_1}{h} = 0.3 \left[\frac{H}{h} + 3.1 \right] \pm \sqrt{0.09 \left[\frac{H}{h} + 3.1 \right]^2 - 0.62 \left(\frac{H}{h} \right)}$$

Für den vortheilhaftesten Werth von $\frac{h_1}{h}$ ist das untere von den Zeichen vor dem Wurzelzeichen zu nehmen. Die Resultate, welche aus dieser Gleichung folgen, sind in folgender Tabelle enthalten.

Für $\frac{H}{h} =$	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	7	8
wird $\frac{h_1}{h} =$	0.14	0.28	0.39	0.48	0.55	0.61	0.70	0.76	0.80	0.83	0.86
und $\frac{h_1}{H} =$	0.29	0.28	0.26	0.24	0.22	0.20	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11

Die erste Horizontalreihe enthält verschiedene Verhältnisse zwischen dem totalen Gefälle und der Tiefe des Fachbaums unter dem Spiegel des Wassers im Flusse. Die zweite Horizontalreihe enthält die entsprechenden vortheilhaftesten Verhältnisse zwischen der Senkung des Wassers und jener Tiefe des Fachbaumes. Die dritte Horizontalreihe endlich enthält in Prozenten ausgedrückt die Effektverluste, welche wegen der Senkung des Wasserspiegels entstehen. Aus der zweiten Reihe sieht man, dass bei einer bestimmten Tiefe des Wassers an der Einlassschleuse die Senkung des Wasserspiegels mit der Grösse des Gefälles zunehmen soll. Daraus folgt, dass der Effekt, welcher gewonnen werden kann, in einem grösseren Verhältniss zunimmt, als das Gefälle, denn bei einem grossen Gefälle kann man nicht nur eine grössere Wassermenge durch die Schleuse eintreten lassen, sondern es wird auch der Effekt günstiger, indem, wie die dritte Horizontalreihe zeigt, die Effektverluste bei grossen Gefällen verhältnissmässig kleiner ausfallen als bei kleineren Gefällen.

SIEBENTER ABSCHNITT.

BERECHNUNG DER DIMENSIONEN, NUTZEFFEKTE UND DER CONSTRUCTIONSKOSTEN DER AUF DEN GROSSEN TAFELN DARGESTELLTEN RÄDER, NEBST BESCHREIBUNG DERSELBEN.

Bemerkungen.

Der Hauptzweck dieses Abschnittes ist, die Anwendung der in den vorhergehenden Abschnitten enthaltenen Lehren auf die Berechnung und Construction der verschiedenen Arten von Wasserrädern zu zeigen und den praktischen Bau derselben durch die auf den grossen Tafeln dargestellten, nach jenen Regeln entworfenen Räder so vollständig, als diess auf dem Papiere möglich ist, zu lehren.

Diese Berechnungen zeigen aber nicht nur die Anwendung der verschiedenen Regeln auf specielle Fälle, sondern sie sind zugleich Formulare für die Berechnung der Räder im Allgemeinen; denn die im Text zerstreut vorkommenden, zur Berechnung jedes einzelnen Rades dienenden Regeln und Formeln sind hier, mit Hinweisung auf ihren Ursprung, vollständig zusammengestellt.

Die auf den grossen Tafeln dargestellten Räder sind zwar zunächst nur spezielle Fälle, die jedoch zusammen ein vollständiges Material für den Bau der Räder überhaupt darbieten; denn jedes dieser Räder ist auf andere Weise gebaut, und die bei denselben vorkommenden Verbindungen sind sehr mannigfaltig; man wird daher, wenn es sich um den Neubau eines Rades handelt, entweder eines oder das andere von den hier dargestellten Rädern zum Muster nehmen können, oder durch eine zweckmässige Combination aus denselben einen den jedesmaligen Verhältnissen angemessenen Bau zu Stande bringen.

Will man z. B. ein oberflächiges Rad mit steifen gusseisernen Armen und gusseisernem Seitengetäfer bauen, so findet man alle hiezu geeigneten Verbindungen durch Combination der Räder E und F oder der Räder E und H.

Die Detailverbindungen sind bei den auf den grossen Tafeln dargestellten Rädern möglichst sorgfältig ausgewählt, und zweckloses Schnörkelwerk ist dabei überall vermieden.

mieden. Mancher dieser Verbindungen wird man vielleicht den Vorwurf machen, dass sie für die Praxis zu kleinlich raffiniert sind, allein bei Musterzeichnungen kann die Vollkommenheit der Verbindungen nicht leicht zu weit getrieben werden, und überdiess unterliegt es keiner Schwierigkeit, die Verbindungen unvollkommener zu machen, als sie in jenen Zeichnungen sind.

Von jedem der dargestellten Räder sind die Gewichte und die Kosten des Baues berechnet worden, weil diess für die Praxis von Wichtigkeit ist. Zur Kostenberechnung sind folgende Preise angenommen worden.

100 Kilg. verarbeitetes Eisen durchschnittlich . . .	à fl. 40 bis 50
1 Kub. M. Eichenholz	„ „ 20
Bearbeitung von 1 □ Met. Oberfläche von Holz . . .	„ „ 1.5
1 Kub. M. Bruchsteinmauerwerk	„ „ 3.7
1 Kub. M. Quadermauerwerk	„ „ 37

Noch muss bemerkt werden, dass bei den zwei kleinen Kropfrädchen die Breite und Tiefe derselben nicht nach den allgemeinen Formeln berechnet wurden, weil es mir darum zu thun war, ein paar Beispiele zu zeigen über den Bau von kleineren Rädern mit einem Armsysteme; die allgemeine Formel hätte aber eine für diese Bauart zu grosse Radbreite geliefert.

A. Tafel I.

Hölzernes Kropfrad.

Dieses Rädchen ist von möglichst einfacher aber doch solider Bauart, wie es die Bedürfnisse der Gewerbeindustrie erfordern. Es ist für den Fall construirt worden, dass durch ein vorhandenes Wehr der obere Wasserspiegel im Zuflusskanale immer auf gleicher Höhe erhalten werden kann, dass dagegen der Wasserspiegel im unteren Abflusskanal um 0.5m veränderlich ist. Bei dem kleinsten Wasserstand berührt der Spiegel des Unterwassers den Umfangskreis des Rades. Bei dem mittleren Wasserstand tauchen die Schaufeln zur Hälfte, beim höchsten Stand tauchen sie ganz ein. Das nutzbare Gefälle (welches durch den Vertikalabstand der Spiegel in den beiden Kanälen bestimmt wird), ist also beim tiefsten Wasserstand am grössten und beim höchsten Stand am kleinsten. Die Wassermenge, welche auf das Rad wirken muss, damit es einen gewissen Nutzeffekt hervorbringt, ist daher beim tiefsten Wasserstand am kleinsten, beim höchsten Stand am grössten. Die Breite des Rades ist so bestimmt worden, dass die Schaufelräume nur $\frac{1}{3}$ gefüllt sind, wenn die kleinste Wassermenge auf das Rad wirkt.

Die Hauptdaten zur Berechnung des Rades sind:

- 1) grösstes Gefälle beim tiefsten Wasserstand $H = 1.5^m$
- 2) Wassermenge, welche bei diesem Wasserstande in 1 Sekunde auf das Rad wirkt $Q = 0.258 \text{ Kbm}$

Angenommen wurde:

- 1) wegen der Veränderlichkeit des unteren Wasserstandes die Tiefe des Rades $a = 0.5^m$
- 2) die Umfangsgeschwindigkeit des Rades $v = 2^m$
- 3) Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser den Umfang des Rades erreicht $V = 4^m$
- 4) Füllung der Schaufelräume, wenn die Wassermenge Q dem Rade zufliesst $\frac{Q}{abv} = \frac{1}{3}$
- 5) der Winkel, den der von dem Vereinigungspunkt des convexen und concaven Theils des Gerinnes nach dem Mittelpunkt des Rades gezogene Radius mit der vertikalen Richtung bildet $\gamma = 45^\circ$

Die Annahmen für die Geschwindigkeiten sind zwar für den Nutzeffekt nicht sehr günstig, kleinere Geschwindigkeiten wären in dieser Hinsicht vortheilhafter, allein in der Regel kommt es bei derlei kleinen Rädern auf einige Prozente mehr oder weniger Nutzeffekt nicht an, indem meistens hinreichend Wasser vorhanden ist, dagegen aber wünscht man gewöhnlich einen schnellen Gang des Rades, um, wo möglich, kostspielige Transmissionsräder zu vermeiden. Mit Berücksichtigung dieser praktischen Verhältnisse wird man obige Annahmen wohl gelten lassen.

Nun findet man:

$$\text{die Breite des Rades} \quad b = 3 \frac{Q}{av} = 0.76^m$$

$$\text{Gefälle, welches der Geschwindigkeit } v \text{ entspricht} \quad \frac{v^2}{2g} = 0.82^m$$

$$\text{Halbmesser des Rades} \quad R = \frac{H - \frac{v^2}{2g}}{1 - \cos \gamma} = 2.27^m$$

$$\text{Schaufeltheilung} \quad e = 0.2 + 0.7 a = 0.55^m$$

$$\text{Anzahl der Schaufeln} \quad i = \frac{2R\pi}{e} = 26$$

$$\text{Anzahl der Radarme} \quad \mathfrak{N} = 2(1 + R) = 6$$

Wegen der 6 Arme sind 30 und 26 Schaufeln genommen worden; die Theilung ist in der Zeichnung 0.5m.

$$\text{Anzahl der Umdrehungen des Rades in 1 Minute} \quad n = 9.548 \cdot \frac{v}{R} = 8.41$$

Mit diesen theils angenommenen, theils berechneten Grössen ist das Rad verzeichnet.

Die Radschaufeln sind schief gegen den Radius und zwar so gestellt, dass sie in senkrechter Lage zur Hälfte in das Unterwasser eintauchen, wenn dieses seinen mittleren Stand erreicht hat.

Die Schaufelarme sind so bestimmt, dass sie durch den Stoss des Wassers beim Eintritt desselben auf den zehnten Theil ihrer respectiven Festigkeit in Anspruch genommen sind. Dieser Stoss beträgt 42 Kilg. Auch die Radarme sind so berechnet worden, dass sie auf $\frac{1}{10}$ ihrer respectiven Festigkeit in Anspruch genommen sind, wenn man sich vorstellt, dass jeder einzelne Arm der ganzen am Umfange des Rades wirkenden Kraft Widerstand leisten soll.

Das Gewicht des Rades beträgt, wenn eine Welle von 5m angenommen wird, 1735 Klg. Der Druck, den der in der Nähe des Rades befindliche Zapfen auszuhalten hat,

kann hier gleich dem Gewichte des Rades gesetzt werden, weil der Schwerpunkt des Baues diesem Zapfen sehr nahe liegt und von dem anderen Zapfen der Welle sehr entfernt ist.

Der Durchmesser des Zapfens ist daher . . . $0.18 \sqrt{1735} = 7.5 \text{ cm}$

Der Durchmesser der Welle ist hier nach dem Gefühle so gewählt worden, dass sie da, wo die Arme durchgesteckt sind, noch hinreichende Festigkeit verspricht.

Das Rad befindet sich, wie Fig. 2 zeigt, zwischen zwei Mauern, von denen die eine dem Gebäude angehört, in welchem die zu treibenden Maschinen aufgestellt sind, die andere dagegen bestimmt ist, das Zapfenlager für das Rad und die Querswellen zu tragen, auf welchen der Bau des Gerinnes ruht.

Das Gerinne ist auf folgende Art gebaut: Es ruht auf den drei Querbalken $a a a$, die mit ihren Enden an die Seitenmauern eingemauert sind. In diese Querbalken sind auf jeder Seite des Rades drei Hölzer $a_1 a_1 a_1$ eingezapft und ebenfalls in die Seitenmauern ganz eingemauert. Der Boden des Radgerinnes liegt auf den zu beiden Seiten des Rades angebrachten Hölzern $b b$, die mit ihren Enden in die Querbalken $a a a$ eingelegt und oben nach der Form des Gerinnes krummlinig zugeschnitten sind. Die mit b bezeichneten Theile, welche den Anfang der Mauerverkleidung bilden, sind mit b aus einem Stück geschnitten. Diese Mauerverkleidung besteht aus mehreren an den Seitenmauern anliegenden und an die Hölzer $a_1 a_1 a_1$ angenagelten Brettern $c c c$. Auf ähnliche Weise, wie das Radgerinne, sind auch die Zu- und Abflussgerinne hergestellt. Der Schützen d , welcher eine schiefe Stellung und auf der dem Zuflusskanale zugekehrten Seite eine für die Zuleitung des Wassers zweckmässige Abrundung hat, besteht aus zwei durch eine Feder verbundenen Brettern. Er ist mit einer hölzernen Leitstange d_1 , die oben durch einen Querbalken geht und mit zwei Leithebeln e versehen, die sich um die an der Gerinneswand befestigten Zapfen e_1 drehen. Zum Aufziehen und Niederlassen des Schützens dient ein Kettchen, welches bei e_2 in den Schützen eingehängt und oben über das Röllchen e_3 in das Gebäude geleitet wird.

Das Rad hat wegen seiner geringen Breite nur einen Kegelkranz und einen Armstern. Der Kegelkranz besteht aus zwei Schichten von Segmentstücken, von denen eines in Fig. 3 und 4 dargestellt ist. Die Regel f , Fig. 6, sind mit ihren schwalbenschwanzförmigen Enden zwischen die Kranzschichten eingelegt und werden durch Holzkeile f_2 festgehalten. Die Schaufelbretter sind mit Schrauben und Bändern an die Kegel befestigt und drücken zugleich die Bodenbretter $h h$ gegen den Kegelkranz. Zur Verbindung der Arme mit dem Kegelkranze sind die ersteren an ihren äusseren Enden gabelförmig ausgeschnitten, i Fig. 2. Die Breite dieser Ausschnitte ist aber etwas kleiner als die Dicke des Kegelkranzes und dieser letztere ist, um in die Gabel hineinzupassen, auf drei Seiten seiner Oberfläche etwas eingeschnitten. Eine Schraube i_1 klemmt die zu verbindenden Theile zusammen, ohne von der Kraft in Anspruch genommen zu werden, welche aus der Wirkung des Wassers auf das Rad entsteht.

Fig. 5 zeigt die Verbindung der Arme unter einander und mit der Welle. Diese Verarmung ist natürlich nur bei kleinen Rädern anwendbar, weil die Welle, damit die Arme durchgesteckt werden können, nach drei Richtungen durchlocht werden muss,

wodurch sie an Festigkeit bedeutend verliert. Die Art, wie die Arme verschnitten werden müssen, wird man bei aufmerksamer Vergleichung der Figuren 5 erkennen. Um die Arme in die Welle einlegen zu können, müssen die drei Durchlochungen nach der Richtung der Axe der Welle ungleiche Dimensionen haben. Diese Dimension ist für einen der drei Arme gleich der mit der Axe des Rades parallelen Dimension des Armes; die zweite ist $(1 + \frac{1}{4})$, die letzte $(1 + \frac{1}{2})$ von dieser Dimension des Armes.

Die Welle des Rades ist mit einem Spitzzapfen versehen, der in das Ende der Welle in ein vorgebohrtes konisches Loch eingetrieben wird. Der in die Welle eindringende Theil ist an seiner Oberfläche mit Widerhaken versehen, die das Zurückweichen verhindern. Um die Welle sind 5 Reife $l l$ angelegt und überdies ist noch eine gusseiserne Kappe l_1 angebracht, welche das Wellenende gegen das Auspringen schützt.

Zur Berechnung des Nutzeffektes, welchen das Rad beim tiefsten Stand des Unterwassers zu entwickeln vermag, hat man folgende Daten.

$H = 1.5^m$	$Q = 0.253$	$v = 2$	$V = 4$
$a = 0.5^m$	$b = 0.76^m$	$c = 0.45^m$	$e = 0.48^m$
$\delta = 0^\circ$	$\gamma = 45^\circ$	$\beta = 62^\circ$	$z = 0.013$
$i = 30$	$h = 0.27$	$s = 0.18$	$f = 0.08$
$R = 2.27$	$S = 2^m$		

und man findet:

Effektverlust, welcher beim Eintritt des Wassers entsteht:

$$1000 \frac{Q}{2g} \left\{ v^2 + v^2 - 2 V v \cos \delta + 2 g \left[\frac{1}{2} e \sin \gamma + e \sin (\gamma - \beta) - s \right] \right\} = 0.161 E_a$$

Effektverlust, welcher bei dem Austritt des Wassers entsteht:

$$1000 Q \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2} h \right) \dots \dots \dots = 0.226 E_a$$

Effektverlust, welcher durch das Entweichen des Wassers entsteht:

$$1000 e b \sqrt{2g} e \left[H - \frac{V^2}{2g} \right] \left[0.43 + 0.26 \frac{Q}{a b v} \right] \dots \dots \dots = 0.031 E_a$$

Effektverlust wegen des Luftwiderstandes:

$$0.118 i a b v^3 \dots \dots \dots = 0.030 E_a$$

Effektverlust wegen der Reibung des Wassers am Gerinne:

$$0.366 b S v^3 \dots \dots \dots = 0.012 E_a$$

Effektverlust wegen der Zapfenreibung:

$$1735 \times f \times v \frac{d}{2R} \dots \dots \dots = 0.013 E_a$$

$$\text{Summe der Effektverluste} \dots \dots \dots = 0.473 E_a$$

Nutzeffekt des Rades $0.527 E_a = 200 \text{ Klg.}$
Pferdekraft 2.64.

Das Rad verspricht also nur 52.7 Prozent Nutzeffekt, ein Resultat, welches wegen der grossen Geschwindigkeit des Rades, und weil es nicht in Unterwasser eintaucht, so ungünstig ausfallen musste; dessen ungeachtet empfiehlt es sich wegen seines einfachen Baues und schnellen Ganges, wenn hinreichend Wasser vorhanden ist.

B. Tafel II.

Kleines eisernes Kropfrad.

Dieses Rädchen ist wie das vorhergehende für ein Gefälle von 1.5^m und für eine Wassermenge von 0.523^{Kbm} konstruiert. Auch ist hinsichtlich der Wasserstände angenommen worden, dass der obere derselben durch einen vorhandenen Wehrbau immer nahe auf gleicher Höhe erhalten werden kann, dass dagegen der Wasserstand im Abflusskanal um 0.5^m veränderlich sei. Wegen der Veränderlichkeit des Wasserstandes ist auch hier die Tiefe a des Rades nicht nach der allgemeinen, Seite 138, aufgestellten Regel bestimmt, sondern gleich 0.5^m angenommen worden, so dass die Schaufeln beim tiefsten Wasserstande das Unterwasser nur berühren, beim höchsten Stand dagegen ganz eintauchen. Endlich ist auch hier wiederum eine grosse Umfangsgeschwindigkeit von 2^m angenommen worden.

Die Hauptdaten zur Berechnung des Rades sind:

- 1) Grösstes Gefälle beim tiefsten Wasserstand $H = 1.5^m$
- 2) Wassermenge, welche bei diesem Wasserstand auf das Rad wirken soll $Q = 0.523 \text{ Kbm}$

Angenommen wurde:

- 1) wegen der Veränderlichkeit des unteren Wasserstandes $a = 0.5^m$
- 2) die Umfangsgeschwindigkeit des Rades $v = 2^m$
- 3) Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser den Umfang des Rades erreichen soll $V = 4^m$
- 4) Füllung des Rades, wenn demselben die Wassermenge Q zufliesst $\frac{Q}{a \cdot b \cdot v} = \frac{1}{2}$
- 5) der Winkel, welchen der nach dem Vereinigungspunkte des concaven und convexen Theils des Gerinnes gehende Radius mit der vertikalen Richtung bildet $\gamma = 50^\circ$

Nun findet man:

Die Breite des Rades $b = \frac{3 Q}{a v} = 0.76^m$

Halbmesser des Rades $R = \frac{H - \frac{V^2}{2g}}{1 - \cos \gamma} = 1.91^m$

Schaufeltheilung $e = 0.2 + 0.7 a = 0.55^m$

Anzahl der Schaufeln $i = \frac{2 R \pi}{e} = 22$

Anzahl der Radarme $\mathfrak{N} = 2 (1 + R) = 6$

In der Zeichnung sind wegen der 6 Radarme 24 Schaufeln genommen worden, die wirkliche Theilung ist deshalb 0.5.

Anzahl der Umdrehungen des Rades in einer Minute $n = 9.548 \frac{v}{R} = 10$

Mit diesen Abmessungen ist das Rädchen verzeichnet.

Die Querschnittsdimensionen der Radarme und der Welle sind nach den gewöhnlichen Regeln bestimmt. Der eine Theil der Axe ist zum Tragen des halben Gewichtes des Rades, der andere Theil dagegen zur Fortpflanzung der Kraft durch Torsion berechnet.

Das ganze Gewicht des Rades ist 1655 Klg.

Der zum Tragen bestimmte Zapfen hat daher einen Druck auszuhalten 828 Klg.

Der Durchmesser desselben ist demnach $0.18 \sqrt{828} = 5.4^{\text{cm}}$

Der Durchmesser des auf Torsion in Anspruch genommenen

Theiles der Welle ist $16 \sqrt[3]{\frac{3}{10}} = 10.7^{\text{cm}}$

Der Bau des Gerinnes bedarf keiner Erklärung, denn er ist genau so, wie bei dem Rade A, welches in vorhergehendem behandelt wurde. Der Körper des Rades besteht aus zwei halbkreisförmigen Gussstücken, die längs ihrem Durchmesser zusammen geschraubt und ferner noch durch zwei schmiedeiserne um die Radhülsen gelegte Ringe zusammengehalten werden. Die Verbindungsflächen sind mit hervorragenden brillenförmigen und gehobelten Ansätzen versehen. Der Ring, an welchem die Schaufelarme angegossen sind, so wie auch diese Arme selbst, haben T förmige Querschnitte. Da wo die Schrauben zur Befestigung der Schaufeln und Bodenbretter durchgehen, sind die Nerven lappenförmig ausgedehnt. Jede Schaufel ist mit 6 und jedes Bodenbrett mit 2 Schrauben befestigt.

Gewicht und Kostenberechnung.

a. Hölzernes Rad.

Kubikinhalt der Holzkonstruktion des Rades = 1.49 Kbm

Kubikinhalt der Holzkonstruktion des Gerinnes = 0.60 Kbm

Zu bearbeitende Oberfläche am Rade = 44.7 qm

Zu bearbeitende Oberfläche am Gerinne = 18 qm

Gewicht an Eisen:

Schrauben zur Verbindung der Schaufeln mit den Kegeln = 90 Kilg.

Schienen zu demselben Zweck = 30 "

Schrauben zur Verbindung der Arme mit den Kränzen = 30 "

Schienen an den Stossfugen = 24 "

Wellringe = 71 "

245 Kilg.

2 Zapfenlager	20 Kilg.
Gewicht des Rades	1735 „
Gewicht per 1 Pferdekraft Nutzeffekt	$\frac{1735}{2.64} = 667$ „
Kosten des Rades	ohne Gerinne fl. 218
	mit Gerinne „ 258
Kosten per 1 Pferdekraft Nutzeffekt	ohne Gerinne „ 82
	mit Gerinne „ 90

b. Des eisernen Rades.

Zapfenlager und Aufzug	40 Kilg.
Gusseisen	996 „
Schmiedeeisen	163 „
Schaufeln und Radboden	Volumen 0.49 Kbm
	Gewicht 490 Kilg.
	Oberfläche 14qm
Gerinnebau	Volumen 0.6 Kbm
	Oberfläche 18qm
Gewicht des Rades ohne Gerinne	= 1655 Kilg.
Gewicht per 1 Pferdekraft Nutzeffekt	= 626 „
Kosten des Rades	ohne Gerinne = fl. 614
	mit Gerinne = „ 654
Kosten p. 1 Pferdekraft Nutzeffekt	ohne Gerinne = „ 232
	mit Gerinne = „ 248

C. Tafel III.

Zwei kleine überschlächtige Räder.

Beschreibung des eisernen Rades Fig. 1 und 2.

Die Bauart dieses Rädchens ist sehr einfach. Es besteht aus zwei mit Armen $a a_1$ versehenen und mit einer Welle b verbundenen Radkronen $c c_1$, an welche die aus Eisenblech gefertigten Zellenwände mit Schrauben befestigt sind. An dem äusseren Umfang der Krone c ist ein Zahnkranz d angegossen, welcher die dem Rade mitgetheilte Wirkung dem Getriebe e übergibt. Zur Befestigung der Zellenbleche mit den Radkronen sind an diese, nach der Form der Zellen gekrümmte Nerven f angegossen, gegen welche die Zellenbleche mit mehreren Schrauben befestigt werden. Das Gerinne wird in der Nähe von dem Scheitel des Rades durch eine Stütze g von Eisen getragen. Der Schützen h

gleitet zwischen zwei an die Seitenwände des Zuleitungskanals angeschraubte Leisten, und ist mit zwei Zahnstangen i versehen, in welche die mit der Axe k verbundenen Getriebe $l l$ eingreifen. Das Ende von dem Boden des Zuleitungskanals wird durch eine Fläche aus Eisenblech gebildet, die das Wasser bis in die Nähe des Scheitels des Rades leitet.

Berechnung der wesentlichen Dimensionen des Rades.

Das Rad ist für folgende Annahmen berechnet.

Gefälle	$H = 3^m$
Wasserzufluss in 1 Sekunde	$Q = 0.225 \text{ Kbm}$
Umfangsgeschwindigkeit	$v = 1.3^m$
Füllung	$\frac{Q_1}{a b v} = \frac{1}{2}$
Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser am Scheitel eintritt	$V = 2.6^m$
und man findet nun:	
Halbmesser des Rades	$R = \frac{1}{2} \left\{ H - \frac{V^2}{2g} \right\} = 1.33^m$
Absoluter Effekt der Wasserkraft	$N^a = 9$
Nutzeffekt des Rades ungefähr	$N_n = 7$
Verhältniss zwischen der Breite und Tiefe des Rades	$\frac{b}{a} = 2.25 \sqrt[3]{N_n} = 4.68^m$
Breite des Rades	$b = \sqrt{\frac{3 Q b}{v a}} = 1.56^m$
Tiefe des Rades	$a = \frac{b}{4.68} = 0.33^m$
Schaufeltheilung	$e = 0.2 + 0.7 a = 0.43^m$
Anzahl der Schaufeln	$i = \frac{2 R \pi}{e} = 20$
Anzahl der Radarme eines Armsystems	$N = 2(1 + R) = 4.66$
Zur Verzeichnung wurden 6 Arme und 24 Schaufeln genommen.	
Anzahl der Umdrehungen des Rades in 1 Minute	$n = 9.548 \frac{v}{R} = 9.33$
Druck am Umfang des Rades	$= \frac{75 N_n}{v} = 520$

(Es ist hier N_n statt N^a in Rechnung gebracht worden, damit die Zähne nicht gar zu fein ausfallen).

Dimension der Zähne des Zahnkranzes.	Dicke = $0.086 \sqrt{520}$ = 1.97cm
	Breite = 11.82cm
	Länge = 2.95cm
	Anzahl = 204

Durchmesser der Welle	$d = 16 \sqrt[3]{\frac{1}{2} N_n} = 11.5^m$
Höhe eines Radarmes	$0.941 d = 10.8^m$
Dicke desselben ($\frac{1}{3}$ von der Höhe)	= 2.16cm
	25.

Nach der später folgenden Gewichtsbestimmung des Rades ist der Druck, welchen ein Zapfen der Welle auszuhalten hat = 1877
Demnach ist der Durchmesser eines Zapfens der Welle = $0.18 \sqrt{1877} = 7.9 \text{ cm}$
Die empirische Regel gibt = $3 \sqrt{N_n} = 8 \text{ cm}$
Mit diesen Dimensionen ist das Rad verzeichnet.

Berechnung des Nutzeffektes.

Zur Berechnung des Nutzeffektes hat man folgende Daten:

$$\begin{aligned} H &= 2.5 \text{ m} & Q &= 1.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} & v &= 1.3 & V &= 2.6 \\ a &= 0.33 \text{ m} & b &= 1.56 \text{ m} & e &= (0.35 \text{ m}) & \delta &= 7^\circ \\ \gamma &= 180 & c &= 24 & h &= 0 & R &= 1.33 \text{ m} \end{aligned}$$

In den Formeln, welche zur Berechnung der bei überschlächtigen Rädern vorkommenden Effektverluste aufgestellt wurden, gelten die Ausdrücke:

$$\text{und} \quad c \cos(\gamma - \beta) - s$$

$$1000 Q 2 R \left[0.25 - 0.035 \frac{a b v}{Q} \right]$$

nur für Zellen mit ebenen Wänden, und können bei krummflächigen Zellen gar nicht gebraucht werden.

Der erste dieser Ausdrücke bedeutet die Tiefe, in welcher sich unmittelbar nach der Füllung der Schwerpunkt der Wassermasse unter der äusseren Kante der Zelle befindet, und diese Tiefe ist nach der Zeichnung 0.38 m. Der zweite jener Ausdrücke ist der in Klgm. ausgedrückte Effektverlust, welcher durch die allmähliche Entleerung entsteht, und man findet nach dem Seite 61 angegebenen Verfahren, dass dieser Effektverlust in dem vorliegenden Falle 52 Klgm. beträgt. Dies berücksichtigend, so erhalten wir nun:

absoluter Effekt der Wasserkraft $E_a = 675 \text{ km}$

Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht

$$1000 \frac{Q}{2g} (V^2 + v^2 - 2 V v \cos \delta + 2 g \times 0.38) = 0.183 E_a$$

Effektverlust, welcher durch das allmähliche Entleeren entsteht = $52 \times \frac{E_a}{675} = 0.077 E_a$

Effektverlust bei dem Austritt wegen v und h :

$$1000 Q \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2} h \right) = 0.028 E_a$$

Effektverlust wegen der Zapfenreibung:

$$7.63 \frac{v}{R} f N_n \sqrt{N_n} = 0.008 E_a$$

$$\text{Summe der Effektverluste} = 0.296 E_a$$

$$\begin{aligned} \text{Nutzeffekt des Rades} & \left\{ \begin{aligned} E_n &= 0.704 E_a \\ E_n &= 475 \text{ km} \\ N_n &= 6.3 \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

Der Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht, ist ziemlich gross. Wenn die Radbreite grösser, und die Tiefe so wie die Umfangsgeschwindigkeit kleiner angenommen worden wäre, würde allerdings dieser Effektverlust kleiner geworden sein, allein das Rad wäre dann bedeutend kostspieliger geworden, und mehr als ungefähr 5 Prozent hätte man dadurch doch nicht gewinnen können.

Gewichtsbestimmung und Kostenberechnung des Rades.

Gusseisen.

	Gewicht in Kilogramm.
Die zwei radförmigen Seitentheile des Rades	1863
Die Welle	177
Drei Zp fenlager sammt Lagerplatten	60
Die Stütze, welche den Einlauf trägt	176
Die Leitungen des Schützens, die Fassungen desselben, und die Zahnstangen	39
Zwei Getriebe zum Schützenzug	11
	2326

Schmiedeeisen.

24 Schaufeln aus Blech	1105
Die Axe des Schützenzuges	18
12 × 24 = 288 Schrauben zur Befestigung der Schaufeln mit den Radkronen	30
	1153
Gesammtgewicht des Rades ohne Lager und ohne die Theile, welche zum Einlauf gehören	3175
Gewicht des Rades per Pferdekraft Nutzeffekt	504
Gewicht der Eisenkonstruktion des ganzen Baues	3479
100 Kilogramm verarbeitetes Eisen zu gerechnet, sind	50 fl.
die Kosten der Eisenkonstruktion des ganzen Baues	1739 fl.
und	
die Kosten der Eisenkonstruktion des ganzen Baues per 1 Pferdekraft Nutzeffekt	276 fl.

C. Tafel III.

Beschreibung des hölzernen Rades.

Fig. 4 bis 7.

Die Wasserkraft, für welche dieses Rädchen construirt ist, stimmt mit jener des vorhergehenden Rädchens überein, es ist aber für eine grosse Umfangsgeschwindigkeit berechnet, und bis auf kleinere Verbindungstheile ganz aus Holz gebaut.

Fig. 4 ist ein Vertikaldurchschnitt, Fig. 5 ein Horizontaldurchschnitt des Rades, Fig. 6, 7 sind zwei Ansichten eines Radarmes.

Der Zuleitungskanal *a* wird von der Mauer *b* der Radstube und von dem Querbalken *c* getragen, welcher durch zwei Säulen unterstützt ist. Auf dem Querbalken *c* sind zwei Hölzer *d* aufgestellt, welche durch zwei Balken *f* und *f*₁ verbunden sind. Die Seitenwände des Zuflusskanals und die Querwand *e* desselben sind in die Balken *a* *f* *f*₁ eingelegt und angenagelt. Die unteren Bretter der Seitenwände und der Boden des Zuflusskanals sind bis an den Scheitel des Rades hin verlängert. Das mit einer Zahnstange *g* versehene Schützenbrett *i* hat eine vertikale Stellung, ist aber nach der Seite des Zuflusskanales hin abgerundet, so dass dadurch eine trichterförmige Ausflussöffnung gebildet wird.

Die Seitentheile des Rades bestehen aus zwei Felgenschichten; in die inneren derselben sind die Zellenbretter und ist der Radboden eingesetzt, und das Ganze wird durch acht schmiedeiserne Stängelchen *k* zusammengehalten. Die äusseren Zellenwände sind gekrümmt, was allerdings etwas kostspielig ist, aber den Vortheil gewährt, dass der Schluck überall eine gleiche Weite erhält. Auf jeder Seite des Rades sind vier durchlaufende, unter einander verbundene Arme *l* vorhanden. Sie liegen mit ihren äusseren Enden an den Felgenkränzen an und sind mit denselben durch die Stangen *k* und durch die Schrauben *m* verbunden. Da wo die Armsysteme mit der Welle verbunden sind, ist dieselbe viereckig, im übrigen aber rund. Die Befestigung der Arme mit der Welle geschieht durch Holzkeile *n*, die in den Spielraum zwischen den Vierecken der Welle und der Arme eingetrieben werden. Wegen dieser Aufkeilung sind die vier Arme einer jeden Seite des Rades in der Art unter einander verbunden, dass sich jeder derselben gegen zwei andere der Richtung nach auf ihn senkrechte Arme der ganzen Dicke nach anstemmt.

Die Fig. 5, 6 sind zwei Ansichten eines Armes, Fig. 4 zeigt ihre Verbindung. Die Welle ist mit Spitzzapfen *p* versehen, und um die Enden derselben sind schmiedeiserne Reife angelegt. Das Rad hat keinen Zahnkranz; die Kraft wird durch die Welle fortgeschafft.

Berechnung der Hauptdimensionen des Rades.

Dieses Rädchen ist für die Annahmen:

Gefälle	= 3m
Wasserzufluss in 1 Minute	Q = 0.22 Kbm
Absoluter Effekt der Wasserkraft	N _a = 9
Umfangsgeschwindigkeit des Rades	v = 2m

Geschwindigkeit des ankommenden Wassers V = 4m

Füllung $\frac{a b v}{Q} = 3$

berechnet. Mit diesen Angaben findet man:

Halbmesser des Rades $R = \frac{1}{2} \left(H - \frac{V^2}{2g} \right) = 1.09m$

Verhältniss zwischen der Breite und Tiefe des Rades . . $\frac{b}{a} = 2.25 \sqrt[3]{N_a} = 4.68$

Breite des Rades $b = \sqrt[3]{\frac{3Q}{v} \frac{b}{a}} = 1.25m$

Tiefe desselben $a = \frac{b}{4.68} = 0.27m$

Zellentheilung $e = 0.2 + 0.7 a = 0.39m$

Anzahl der Zellen $i = \frac{2 R \pi}{e} = 18$ (nahe)

Anzahl der Umdrehungen des Rades in einer Sekunde . . $n = 9.548 \frac{v}{R} = 17.5$

Wegen der schnellen Bewegung des Rades bilden die Oberflächen der Wassermassen in den Zellen concentrische Cylinderflächen, und die Entfernung der gemeinschaftlichen Axe derselben von der Axe des Rades

beträgt nach der Seite 60 entwickelten Regel $\frac{895}{n^2} = 2.91m$

Durchmesser des Zapfens nach der praktischen Formel $3 \sqrt[3]{N_a} = 8cm$

Berechnung des Nutzeffektes.

Zur Berechnung des Nutzeffektes hat man folgende Elemente:

H = 3	Q = 0.225	v = 2	V = 4
R = 1.09	a = 0.27	b = 1.25	e = 0.4
e = 0.39	s = 0.03m	S = 0	h = 0
γ = 180°	β = 30°	δ = 18°	i = 18
f = 0.08			

und man findet:

Absoluter Effekt der Wasserkraft E_a = 675 Kilg.

Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht:

$$\frac{1000 Q}{2 g} \left\{ \frac{V^2 + v^2 + 2 V g \cos \delta + \left[\frac{e}{2} \sin \gamma + c \sin (\gamma - \beta) - s \right]}{2 g} \right\} = 0.128 E_a$$

Effektverlust, welcher bei dem Austritt wegen *h* und *v* entsteht:

$$1000 Q \left(\frac{v^2}{2 g} + \frac{1}{2} h \right) = 0.068 E_a$$

Effektverlust, welcher durch das allmähliche Entleeren der Zellen entsteht, .

nach der Seite 61 entwickelten Regel = 0.167 E_a

Effektverlust wegen der Zapfenreibung:

$7.63 \frac{v}{R} f N_n \sqrt{N_n}$	$= 0.030 E_n$
Summe der Effektverluste	$= 0.393 E_n$
Nutzeffekt des Rades	$\begin{cases} E_n = 0.607 E_n \\ E_n = 410 \text{ Kilg.} \\ N_n = 5.5 \end{cases}$

Kostenberechnung des Baues.

Das Rad.

Volumen der Holzkonstruktion	$= 2.06 \text{ km}$
Oberfläche der Holzkonstruktion	$= 90.6 \text{ m}^2$
Gewicht an Eisen	$= 180 \text{ Kilg.}$

Das Gerinne.

Volumen der Holzkonstruktion	$= 0.7 \text{ km}$
Oberfläche dieser Konstruktion	$= 22 \text{ m}^2$
Gewicht an Eisen	$= 11 \text{ Kilg.}$

Rechnet man:

1 Kubikmeter Eichenholz zu	20 fl.
Die Bearbeitung von 1 Quadratmeter Oberfläche zu	1.5 „
100 Kilogramm verarbeitetes Eisen zu	50 „
so kostet	
das Rad ohne Gerinne	231 „
das Gerinne	53 „
der ganze Bau ohne Seitenmauern	284 „
ferner kostet	
jede Pferdekraft Nutzeffekt	$\begin{cases} \text{des Rades ohne Gerinne} & 42 \text{ „} \\ \text{des Rades mit Gerinne} & 54 \text{ „} \end{cases}$
was bei gutem Material und sorgfältiger Ausführung nicht viel ist.	

D. Tafel IV., V., VI.

Hölzernes Schaufelrad mit Ueberfalleinlauf.

Beschreibung des Baues im Allgemeinen.

Das Rad ist grösstentheils von Holz konstruirt, nur der Zahnkranz, die Rosetten, die Wellzapfen und einzelne kleinere Verbindungsstücke sind von Eisen. Innerhalb der

Radstube sind die Seitenwände der Zu- und Abflusskanäle und des Gerinnes aus Mauerwerk, das jedoch überall, wo es mit Wasser in Berührung kommen könnte, mit Holz verkleidet ist. Das Gerinne des Rades liegt auf einem Mauerwerk von Bruchsteinen, ist aber aus Holz konstruirt. Das Rad hat drei Kegelkränze, die durch drei Armwerke und mittelst dreier Rosetten mit der hölzernen Welle verbunden sind. Die Schaufelräume sind ventilirt. Die Welle ist mit zwei Ringzapfen versehen und die beiden äusseren Rosetten sind auf die Ringe der Zapfen aufgekeilt. Der Zahnkranz ist gegen einen der Kegelkränze geschraubt und wird durch 16 schmiedeiserne Stangen, die ihn aussen fassen und innen in die Armrosette eingelegt sind, in concentrischer Lage gegen die Axe des Rades erhalten. Der Schützen ist oben mit einer gusseisernen Leitfläche versehen; er wird durch einen Aufzug mit Zahnstangen und Getriebe bewegt.

Berechnung der wesentlichen Dimensionen des Rades.

Das Rad ist für folgende Annahmen berechnet:

Gefälle	$H = 2.5 \text{ m}$
Wasserzufluss in einer Sekunde	$Q = 1.5 \text{ km}^3$
Absoluter Effekt der Wasserkraft	$N_n = 50$
Umfangsgeschwindigkeit des Rades	$v = 1.5 \text{ m}$
Füllung des Rades	$\frac{Q}{a b v} = \frac{1}{2}$
Halbmesser des Rades	$R = 3 \text{ m}$
Verhältniss zwischen dem Nutzeffekt und dem absoluten Effekt des Rades	$\frac{N_n}{N_a} = 0.65$
Nutzeffekt des Rades	$N_n = 32.5$

Nun hat man

Verhältniss zwischen der Breite und Tiefe des Rades	$\frac{b}{a} = 1.75 \sqrt[3]{N_n} = 6.45$
Breite des Rades	$b = \sqrt{\frac{2 Q}{v} \frac{b}{a}} = 3.6 \text{ m}$
Tiefe des Rades	$a = \frac{b}{6.45} = 0.56 \text{ m}$
Schaufeltheilung	$e = 0.2 + 0.7 a = 0.59 \text{ m}$
Anzahl der Schaufeln	$i = \frac{2 R \pi}{e} = 32$
Anzahl der Arme eines Armsystems	$R = 2 (1 + R) = 8$
Anzahl der Umdrehungen des Rades in 1 Minute	$n = 9.548 \frac{v}{R} = 4.77$
Dicke der Wasserschicht über dem Scheitel des Einlaufs	
nach Seite 148	$t = \left(\frac{Q}{0.443 b \sqrt{2g}} \right)^2 = 0.385 \text{ m}$

Horizontaldistanz zwischen dem Scheitel des Einlaufs und dem Punkte, in welchem die Leitfläche dem Umfang des Rades begegnet nach Seite 148	$= 0.36 \text{ m}$
Vertikaldistanz dieser Punkte	$= 0.08 \text{ m}$
Verzeichniss der Leitfläche nach der Regel Seite 148.	
Halbmesser des Zahnkranzes (nach der Zeichnung)	$R_1 = 2.25 \text{ m}$

Druck in der Peripherie des Zahnkranzes	$\frac{650 Q H}{v R_1} = 2167 \text{ kg}$
Dimensionen eines Zahnes	Dicke $z = 0.066 \sqrt{2167} = 4 \text{ cm}$
	Breite $z_1 = 6 z = 24 \text{ cm}$
	Länge $z_2 = 6 \text{ cm}$
	Theilung $z_3 = 2.1 z = 8.4 \text{ cm}$
	Anzahl $= 8 \times 21 = 168$
Halbmesser des Getriebes (Kolbens)	$= \frac{1}{4} R_1 = 54 \text{ cm}$
Anzahl der Umdrehungen in 1 Minute	$= 4 \times 4.774 = 19$
Durchmesser der Kolbenwelle	$16 \sqrt[3]{\frac{32.5}{19}} = 19 \text{ cm}$
Höhe eines Armes auf der Seite des Zahn-	
Zahnkranzes	$= 0.855 \times 16 \sqrt[3]{\frac{2 N_n}{n}} = 22.2 \text{ cm}$
Dicke eines dieser Arme	$= \frac{5}{7} 22.2 = 15.9 \text{ cm}$
Höhe eines Armes von den beiden anderen	
Armsystemen	$= 0.855 \times 16 \sqrt[3]{\frac{1 N_n}{n}} = 18 \text{ cm}$
Dicke eines dieser Arme	$= \frac{5}{7} 18 = 12.9 \text{ cm}$
Der Durchmesser eines Zapfens der Welle	
ist hier bestimmt worden nach der	
Annäherungsformel	$3 \sqrt{N_n} = 17$
Durchmesser der hölzernen Welle	$= 3.5 \times 17 = 60 \text{ cm}$
Diess sind die wesentlichsten Dimensionen, mit welchen das Rad verzeichnet worden ist.	

Effektberechnung des Rades.

Zur Berechnung des Effektes hat man nach den so eben ermittelten Dimensionen und nach der Zeichnung folgende Daten:

$H = 2.5$	$Q = 1.5$	$v = 1.5$	$V = 3$
$a = 0.56$	$b = 3.6$	$c = 0.2$	$e = 0.6$
$\delta = 43^\circ + 40'$	$\gamma = 71.5$	$\beta = 75^\circ$	$s = 0.02$
$i = 32$	$h = 0$	$s = 0.18$	$f = 0.08$
$R = 3^m$	$S = 3.5^m$		

und nun findet man:

Absoluten Effekt der Wasserkraft $E_a = 3750 \text{ kgm}$

Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht:

$$1000 \frac{Q}{2g} \left\{ \frac{V^2 + v^2 - 2 V v \cos \delta}{2g} + \left[\frac{1}{2} e \sin \gamma + c \sin (\gamma - \beta) - s \right] \right\} = 0.133 E_a$$

Effektverlust, welcher bei dem Austritt des Wassers entsteht:

$$1000 Q \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2} h \right) = 0.046 E_a$$

Effektverlust, welcher durch das Entweichen des Wassers entsteht:

$$1000 s b \sqrt{2g} e \left(H - \frac{V^2}{2g} \right) \left(0.43 + 0.26 \frac{Q}{a b v} \right) = 0.075 E_a$$

Effektverlust wegen des Luftwiderstandes:

$$0.118 i a b v^3 = 0.007 E_a$$

Effektverlust wegen der Reibung des Wassers am Gerinne:

$$0.366 b S v^3 = 0.004 E_a$$

Effektverlust wegen der Zapfenreibung:

$$7.63 \frac{v}{R} f N_n \sqrt{N_n} = 0.015 E_a$$

Summe der Effektverluste $= 0.280 E_a$

Nutzeffekt des Rades $\left\{ \begin{array}{l} E_n = 0.72 E_a \\ E_n = 2700 \text{ km} \\ N_n = 36 \text{ Prdkt} \end{array} \right.$

Wenn man die Dimensionen des Rades nach den Seite 87 entwickelten Regeln bestimmte, die für das Maximum des Nutzeffektes aufgefunden wurden, so würde man ein etwas günstigeres Resultat für den Effekt erhalten.

Nimmt man an:

$$\gamma = 71^\circ + 30' \quad R = 3 \quad e = 0.5 \quad s = 0.02$$

$$\frac{Q}{a b v} = \frac{1}{2} \quad Q = 1.5 \quad \beta = 73^\circ$$

so erhält man nach jenen Regeln für den vorteilhaftesten Effekt folgende Konstruktionselemente:

Zuerst wird

$$k = s \sqrt{2g} e \left(0.43 + 0.26 \frac{Q}{a b v} \right) \frac{2g}{0.443} = 1.643$$

dann findet man den Werth von δ aus der Gleichung:

$$\tan \delta = \frac{1}{2} \tan \gamma \quad \delta = 56^\circ + 11'$$

ferner findet man aus der Gleichung:

sodann

$$\frac{\sin 2\delta \cos (\gamma - \delta)}{\sin (\gamma - \delta)} = 12 \text{ kg } \frac{H - \frac{V^2}{2g}}{V^2} \dots = 2.67$$

$$v = \frac{1}{2} V \cos \delta \dots = 0.74$$

$$\frac{b}{Q} = \frac{2g}{0.42} \frac{1}{V^2 \cos^2 (\gamma - \delta)} \dots = 2.735$$

$$b = 2.735 Q \dots = 4.1^m$$

$$a = \frac{2Q}{bv} \dots = 1^m$$

Zur Berechnung des Nutzeffektes dieses Rades hat man nun folgende Daten:

$H = 2.5$	$Q = 1.5$	$v = 0.74$	$V = 2.67$
$a = 1$	$b = 4.1$	$c = 0.2$	$e = 0.5$
$\delta = 56^\circ + 11'$	$\gamma = 71^\circ + 30'$	$\beta = 75$	$\epsilon = 0.02$
$i = 32$	$h = 0$	$s = 0.13$	$f = 0.08$
$R = 3$	$S = 3.5$ und man findet:		

den Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht	$= 0.111 E_n$
Effektverlust bei dem Austritt	$= 0.011 E_n$
Effektverlust durch das Entweichen des Wassers	$= 0.082 E_n$
Effektverlust wegen des Luftwiderstandes	$= 0.002 E_n$
Effektverlust wegen der Wasserreibung	$= 0.001 E_n$
Effektverlust wegen der Zapfenreibung	$= 0.007 E_n$
Summe der Effektverluste	$= 0.214 E_n$
Nutzeffekt des Rades	$E_n = 0.786 E_n$ $E_n = 2948 \text{ kgm}$ $N_n = 39.3$

Dieses breitere, tiefere, enger geschaufelte und langsamer gehende Rad würde also um 6.6 Prozent mehr Nutzeffekt geben können, als das nach den empirischen Regeln berechnete vorhergehende Rad; diese wenigen Prozente müsste man aber ziemlich theuer erkaufen, indem das Rad wegen seiner kleinen Umfangsgeschwindigkeit in allen seinen Theilen sehr starke Querschnittsdimensionen erhalten müsste.

Die vortheilhafteste Breite des Rades ist gleich 4.1^m gefunden worden; nach den empirischen Regeln ergab sich für die Breite des Rades 3.6^m , der Unterschied ist nicht bedeutend. Einige Schriftsteller haben als Regel angegeben, dass die Dicke der Wasserschichte über dem Scheitel des Ueberfalles nicht mehr als höchstens 0.24^m betragen solle; nach dieser Regel würde die Radbreite 7.1^m , also nahe doppelt so gross, als nach der empirischen Regel. Dieses enorm breite Rad würde sehr kostspielig werden und könnte doch keinen günstigen Effekt geben, weil der Effektverlust, welcher durch das Entweichen des Wassers entstünde, 15 Prozent betragen würde.

Gewichtsbestimmung und Kostenberechnung des Rades.

Holz.

Das Volumen aller aus Holz gefertigten Bestandtheile des Rades ist	13.74 kbm
Die Oberfläche dieser Bestandtheile beträgt	442.5 qm
Das Volumen der Holzkonstruktion des Gerinnes und der Theile der Zu- und Abflusskanäle, welche in der Zeichnung sichtbar sind, beträgt	5.17 kbm
Die Oberfläche aller Theile dieser Konstruktion ist	140 qm

Gusseisen.

Der Zahnkranz	1400 Kilg.
Eine grössere Rosette	667 "
Zwei kleinere Rosetten	763 "
Zwei Ringzapfen	1180 "
Drei Zapfenlager mit Lagerplatte	378 "
Zwei Fassungen zu dem Schützen und zwei Zahnstangen	92 "
Eine gusseiserne Leitfläche	155 "
Zwei kleine Lager zum Aufzug	43 "
Summe	4678 Kilg.

Schmiedeeisen.

Bänder zu den Schaufeln und zum Radboden	415 Kilg.
Schrauben zu den Schaufeln	97 "
16 Stangen zum Zahnkranz	384 "
Schrauben zum Zahnkranz	84 "
Schrauben zur Befestigung der Arme mit den Rosetten	43 "
8 Keile zum Aufkeilen der Rosetten	55 "
Axe zum Aufzug	26 "
Summe	1104 Kilg.

Mauwerk.

Seitenmauern des Gerinnes	56 kbm
Untermuerung des Gerinnes	16 kbm
Volumen der Quadratstücke unter den Zapfenlagern	4.8 kbm
Das totale Gewicht des Rades ohne Gerinne ist, wenn man 1 kbm nasses Eichenholz zu 1000 Kilg. anschlügt	18880 Kilg.
Das Gewicht des Rades per Pferdekraft	525 "
Zur Kostenberechnung darf man folgende Preise annehmen:	
1 Kubikmeter Eichenholz	fl. 20
Die Bearbeitung von 1 Quadratmeter Holzfläche	" 1.5

100 Killogramm verarbeitetes Eisen	fl. 50
1 Kubikmeter Bruchsteinmauerwerk	„ 37
1 Kubikmeter Quaderstein mit Behauen und Einmauern	„ 37
Die Kosten des Rades sammt Schützenzug und Zapfenlager, aber ohne Gerinne und Mauerwerk sind nun	„ 3830
Kosten per 1 Pferdekraft	„ 106
Die Kosten des Gerinnes und des Mauerwerkes sind	„ 756
Der ganze Bau kostet also	„ 4586
und per 1 Pferdekraft	„ 127

Beschreibung der Details des Baues.

Tafel IV.

Fig. 1. Ansicht des Rades von der Seite des Zahnkranzes und Durchschnitt des Gerinnes.

Fig. 2. Vertikalquerschnitt des Rades und des Gerinnes.

Fig. 3. Horizontalquerschnitt des Gerinnes nach der Linie *yz* Fig. 1.

Fig. 4. Vertikalquerschnitt durch die Kammer vor dem Einlauf nach *uvwx*.

Fig. 5. Ventilation des Rades.

Die Gerinne bestehen aus einem mit Brettern verkleideten Balkenwerk, das theils auf dem Mauerwerk *a* Fig. 1 aufliegt, theils in die Seitenmauern *b* Fig. 3 eingemauert ist. *ccc* sind Balken, die auf dem Mauerwerk *a* aufliegen und mit ihren Enden in die Seitenmauern *b* hineinreichen. *c*, sind 4 in die Enden von *c* eingezapfte und in die Seitenmauern *b* eingemauerte Hölzer, die nach dem Mittelpunkte des Rades hin gerichtet sind und gegen welche die aus Brettern bestehenden Seitenwände des Radgerinnes mit Nägeln oder mit Holzschrauben befestiget werden.

c, *c*, in *b* eingemauerte und in *c* eingezapfte, schief gestellte Hölzer, in welchen die Querbalken *c*, *c*, Fig. 1 eingezapft sind, die, wie Fig. 3 zeigt, die Führung für den Schützen *c*, bilden. Dieser Schützen besteht aus zwei dicken Brettern, die an den Seitenkanten mit gusseisernen Fassungen und an der oberen Kante mit der gegossenen Einlauffläche *a* versehen ist. Er wird durch das Wasser gegen den Querbalken *c*, gedrückt, so dass kein Wasser zwischen *c*, und *c*, entweichen kann, und durch einen aus zwei Zahnstangen und zwei Getrieben bestehenden Mechanismus bewegt. *e* der Boden des Gerinnes liegt auf vier dem Umfange des Rades folgenden Hölzern *e*, *e*, welche in die Querschwellen *ccc* *c*, eingelegt sind. Diese Andeutungen dürften genügen, den Bau des Gerinnes zu verstehen, wenn man sich die Mühe gibt, die Zeichnungen aufmerksam zu verfolgen.

Die Seitenmauern bestehen im Allgemeinen aus Bruchsteinen, nur die Theile unter den Zapfenlagern sind aus Quaderstücken.

An dem Rade kommen folgende Hauptbestandtheile vor: 1) die drei Kränze *f*, *f*, *f*, von denen jeder aus zwei Schichten von Segmentstücken gebildet wird; 2) die Schaufel-

arme *g*, welche in die Kränze eingesetzt sind, und gegen welche die Radschaufeln mit Schrauben befestigt sind; 3) *h* *h*, *h*, drei Armsysteme, von denen das erstere für $\frac{2}{3}$, jedes der beiden anderen für $\frac{1}{3}$ der ganzen Kraft des Rades berechnet ist; 4) *i* *i*, *i*, drei Rosetten zur Verbindung der Arme unter sich und mit der Welle. Die Rosette *i* hat, wie Fig. 1 zeigt, zwei Hülsensysteme, eins für die hölzernen Arme *h*, und ein anderes für die 16 schmiedeisernen Stangen *k*, welche den Zahnkranz in concentrischer Lage gegen die Radwelle erhalten; 5) der Zahnkranz *k*, bestehend aus 8 untereinander und mit dem Kranze *f* mittelst Schrauben verbundenen Segmenten; 6) die Welle *l*, deren Enden mit den Zapfenhülsen *l*, *l*, versehen, und auf welche die Rosetten *i* und *i*, aufgekitt sind. Die Konstruktion dieser Hauptbestandtheile des Rades enthalten die Tafeln V. und VI.

Fig. 5 zeigt den Eintritt des Wassers in das Rad und die Ventilation der Schaufelräume. Es sind nämlich in dem Boden des Rades bei *mm* Spalten angebracht, deren Länge gleich ist der Distanz der Kränze, *ff*, und *f*, *f*. Damit aber durch diese Spalten nur Luft und kein Wasser in den innern Raum des Rades entweichen kann, sind ferner noch die schiefgestellten Bretter *m*, vorhanden, welche das etwa mit der Luft entweichende Wasser auffangen und in die Schaufelräume wiederum zurückleiten. Die Bretter *m*, sind, wie man in Fig. 2 sieht, in die Kränze *ff*, *f*, eingelegt, und werden daselbst durch hölzerne Keilstücke festgehalten. Eine Ventilation der Schaufelräume ist bei grösseren Schaufelrädern und insbesondere bei etwas starker Füllung jederzeit nothwendig, denn so wie einmal die nachfolgende von zwei Schaufeln, welche einen Schaufelraum bilden, die Oberfläche des Wasserstrahles berührt, ist dieser Raum von der äusseren Luft abgeschlossen; die eingeschlossene Luft wird also durch das später eintretende Wasser comprimirt, bis sie der Wassersäule von ungefähr 0.4^m, welche der Tiefe der unteren Fläche des Strahles unter dem Spiegel des Wassers im Zuflusskanale entspricht, das Gleichgewicht hält. Ist dieser Moment eingetreten, so muss das Einströmen ganz aufhören, woraus man sieht, dass ein nicht ventilirtes Rad, es mag nun noch so geräumig gebaut sein, doch nur eine verhältnissmässig kleine Wassermenge aufzunehmen im Stande sein wird.

Tafel V.

enthält die wesentlicheren konstruktiven Details des Rades.

Fig. 1 zeigt die Form und die Verbindung aller Theile, welche am äusseren Umfang des Rades vorkommen.

Fig. 2 ist eine Ansicht, Fig. 3 zeigt die Verbindung der Segmentstücke, aus welchen der Kranz *f* zusammengesetzt ist.

Die Fig. 4, 5, 6 zeigen die Verbindung der Arme mit der Rosette, der mittleren Rosette mit der Welle und der äusseren Rosette mit den Zapfenhülsen.

Fig. 7 zeigt einen von den 4 Ankern, mit welchen jede von den beiden Zapfenhülsen *l*, zu ihrer Befestigung mit der Welle versehen ist.

Fig. 8 zeigt den Schnitt des Zahnkranzes mit einer auf die Axe und die Arme *k* senkrechten Ebene.

Um die Form und Verbindung dieser Theile genau kennen zu lernen, muss man nebst der Tafel V. auch der Tafel VI., welche den Einlauf und einen Quadranten des Rades enthält, einige Aufmerksamkeit schenken.

Jeder von den drei Radkränzen f, f_1, f_2 besteht aus zwei Schichten von krummen Segmentstücken, die zur Aufnahme der Schaufelarme und der Radarme mit schwalbenschwanzförmigen Einschnitten n und n_1 , Fig. 2, versehen sind.

Die inneren Enden der Schaufelarme, so wie die äusseren Enden der Radarme haben eine ähnliche Form, und die Befestigung dieser Arme geschieht durch das Eintreiben hölzerner Keile, die auf Taf. VI. durch punktirte Linien angegeben sind. Die Verbindung der Segmentschichten unter einander geschieht durch Schraubenbolzen und eingelegte Blechstreifen, welche zu verhindern haben, dass die Muttern, wenn sie fest angezogen werden, sich nicht in das Holz eindrücken können. Jedes Segmentstück ist mit vier Schrauben versehen und bei f , Fig. 1, dienen dieselben gleichzeitig zur Befestigung der Zahnkranzsegmente gegen den Radkranz f .

Die Verbindung der Zahnsegmente unter einander geschieht durch die Schrauben o, o_1 , Fig. 1, Tafel V. und Tafel VI., welche, wenn sie angezogen werden, die mit gehobelten Säumen versehenen Endflächen der Segmente gegen einander drücken.

Damit die Schrauben, welche die Zahnsegmente gegen den Kranz f anzuhalten haben, durch die aus der Wirkung des Wassers auf das Rad entspringende Kraft, welche den Zahnkranz gegen den Radkranz f zu verschieben sucht, nicht zu stark in Anspruch genommen werden, ist jedes Zahnsegment an der dem Radkranz zugekehrten Fläche mit zwei Nasen o_1 , Fig. 8, versehen, welche in das Holz des Kranzes f eingreifen, und die nach Art eines Mitnehmers wirken. Ich muss bei dieser Gelegenheit bemerken, dass man überhaupt den Grundsatz befolgen soll, die Verbindungen immer so einzurichten, dass Schraubenbolzen nie durch Kräfte forcirt werden können, derer Richtung mit jener von der Axe der Bolzen nicht übereinstimmen. Bei m_1 , Fig. 3, sieht man die Einschnitte für die erwähnten Nasen o_1 .

Um sowohl den Zahnkranz als auch das Rad in concentrischer Lage gegen die Axe des Rades zu erhalten, fasst jedes Zahnsegment mit 2 Lappen o_2 , Fig. 1 und 8, Tafel V, die äussere Umfangsfläche des Kranzes f ; durch diese Lappen gehen die, innen in die Rosette i eingekerkerten Armstangen k und werden aussen durch die Schraubenmutter o_3 so gespannt, dass der Theilriss des Zahnkranzes einen mit der Axe des Rades concentrischen Kreis bildet.

Jede Radschaufel besteht aus zwei Brettern, von denen das innere radial, das äussere aber so gestellt ist, dass es beim Austritt aus dem Unterwasser eine ~~radiale~~ *verticale* Stellung hat. Das innere grössere Brett ist mit zwei, das äussere kleinere Brett aber nur mit einer Schraube an den Arm geschraubt (Tafel VI.), damit es in dem Falle, dass mit dem Wasser etwa ein Baumast in das Rad eintreten sollte, leichter als irgend ein anderer Theil des Rades von demselben weggebrochen werden kann; denn Etwas muss in diesem Falle brechen, daher ist es gut, wenn dafür gesorgt wird, dass der daraus entstehende Nachtheil leicht beseitigt werden kann. Den Schraubenmutter sind schmiedeiserne Bänder p unterlegt. Um die Bodenbretter gut zusammen zu halten, sind

um die äusseren Umfänge des fassartigen Radbodens Reifeisen p_1 , Fig. 1, herumgezogen.

Die Rosetten, welche die Bestimmung haben, sämtliche Arme zu fassen und sie mit der Welle zu verbinden, bestehen aus einem Ring, aus welchem zur Aufnahme der Radarme geeignete, durch Nerven verbundene Hülsen heraustreten. Die Rosette i ist, wie schon früher erwähnt wurde, mit 8 grossen Hülsen für die hölzernen Arme und mit 16 Hülsen für die Armstangen k versehen. Die beiden andern Rosetten i_1 und i_2 haben dagegen jede nur 8 grosse Hülsen. Die hölzernen Arme werden von den Hülsen vorzugsweise durch die an ihre Wände angegossenen Nasen p_1, p_2 , Tafel VI., gefasst; so dass, dem oben erwähnten Grundsatz gemäss, die Schrauben p_2, p_3 , Fig. 4, 5, 6, Tafel V, nie stark in Anspruch genommen werden können. Die Wände p_2 , Tafel VI., zwischen den Hülsen befinden sich an der offenen Seite dieser letzteren; weil dadurch die Hülsenwände, an welchen die Nasen p_1, p_2 angebracht sind, gut verstrebt werden. Die kleinen Hülsen p_3 , Tafel VI., für die Armstangen k befinden sich an der geschlossenen Seite der grossen Hülsen, und die Grundfläche der ersteren wird durch die äussere Fläche der letzteren gebildet. Die Armstangen haben T-förmige Anker, deren Querschnitt nach der Richtung des Armes rautenförmig ist, wodurch sie beim Anspannen der Arme ein Bestreben haben, in die Hülsen hineinzugleiten. Die mittlere Rosette i wird mit hölzernen, abwechselnd von entgegengesetzter Seite eingetriebenen Keilen mit der Welle verbunden. Jede der äusseren Rosetten i_1 und i_2 wird mit vier eisernen Keilen auf eine der Zapfenhülsen l , aufgekeilt, diese letzteren sind deshalb auf ihrer Oberfläche mit vier gehobelten Bahnen q, q_1 versehen.

Jede Zapfenhülse besteht aus einer äusseren cylindrischen Wand q , und aus einem mittleren konischen, in den Zapfen übergehenden Kern q_1 , der durch zwei sich rechtwinklig durchkreuzende, radial gestellte Wände mit dem äusseren Ring q , verbunden ist. Die Enden der Welle sind natürlich nach der Form der inneren Theile der Zapfenhülsen ausgeschnitten, damit diese über der Welle fest aufgetrieben werden können. Zur Vorsicht wird aber noch jede Zapfenhülse durch vier schmiedeiserne, in das Holz der Welle eingreifende Ankerhaken r , Fig. 7, gegen das Abschieben von der Welle geschützt; auch dienen diese Anker, um die Hülsen fest auf die Welle anzuziehen.

E. Tafel VII. bis XII.

Eisernes Schaufelrad mit Coulisseneinlauf,

Beschreibung im Allgemeinen.

Dieses Rad ist für ein Gefälle von 3m und für eine Wassermenge von 2 Kub. M. in 1 Sekunde berechnet und gezeichnet; der absolute Effekt der Wasserkraft ist demnach 80 Pferde und der Nutzeffekt beträgt, wenn man vorläufig 70 Prozent in Rechnung bringt, 56 Pferdekraft.

An dem Rade sind nur allein die Schaufeln und der Boden von Holz, alles Uebrige ist von Eisen. Auch der Einlauf ist von Eisen. Das Gerinne ist gemauert.

Das Rad ist mit drei Kränzen versehen, die durch drei Armsysteme und durch drei Rosetten mit der Welle verbunden sind. An einem der beiden äusseren Kränze ist ein Zahnkranz angeschraubt, welcher die Kraft an die erste Transmissionswelle abgibt. Die Kränze, welche aus einzelnen mit den Armen durch Schrauben verbundenen Segmenten bestehen, sind mit Armen (Kegeln) versehen, gegen welche die hölzernen Schaufeln angeschraubt sind. Diese Segmente werden gewöhnlich „Kegelsegmente“ genannt. Der Zahnkranz besteht ebenfalls aus einzelnen Segmentstücken (Zahnsegmente), die unter sich und mit den Kegelkränzen mittelst Schrauben verbunden sind. Die Arme fassen aussen die Kegelkränze und sind immer mit den Rosetten verbunden, aber nicht angegossen.

Zu beiden Seiten des Rades befindet sich ein solides Mauerwerk, auf welchem die Zapfenlager von der Wasserradwelle, so wie auch das Lager von der Kolbenwelle aufliegen. Da, wo die Lager aufliegen, bestehen die Seitenmauern aus grösseren Quaderstücken, mit welchen die Lagerplatten der Zapfenlager durch eiserne Stangen zu einem Ganzen verbunden sind. Das Gerinne wird durch ein Tonnengewölbe gebildet. Es stützt sich unten gegen eine horizontalliegende Gewölbegurt, die von einer Seitenmauer zur anderen geht. Diese Konstruktion ist allerdings sehr kostspielig, aber auch sehr solid. Einen billigeren und doch auch dauerhaften Bau erhält man, wenn man das Gerinne von Bruchsteinen mauert und mit einer Schicht hydraulischen Cementes überzieht.

Der Einlauf ist ganz von Eisen; er besteht aus vier Schilden, die oben durch eine Traverse und unten durch drei eiserne Wände verbunden sind und aus drei Leitflächen von Eisenblech (Coulissen), welche in die durch die Schilde, Traversen und Wände gebildeten Fensteröffnungen eingeschoben sind.

Zwei von den Schilden (die Seitenschilder) sind in den Seitenmauern des Zuflusskanals eingelassen, die beiden andern (die Zwischenschilder) sind um $\frac{1}{3}$ der Einlaufbreite von den ersteren entfernt aufgestellt. Die Traverse liegt auf den Zwischenschildern und ist gegen dieselben niedergeschraubt; an den Enden ist sie ferner mit den Seitenschildern durch Schrauben verbunden. Die drei eisernen Wände sind mit den vier Schilden zusammengeschraubt. Der Schützen, welcher aus zwei starken mit Feder und Nuth verbundenen Brettern besteht, die an den Enden durch gusseiserne Fassungen (Kappen) zusammengehalten werden, liegt an den Schilden, und die Kappen, an welchen die Zahnstangen zum Aufziehen angebracht sind, bewegen sie in Leitrinnen, mit welchen die Seitenschilder versehen sind.

Berechnung der Dimensionen des Rades.

Die zur Konstruktion des Rades gegebenen Grössen sind:

Gefälle	H = 3 ^m
Wassermenge in Kubikmetern in 1 Sekunde	Q = 2 ^m

$$\text{Absoluter Effekt der Wasserkraft} \frac{1000 Q H}{75} = N_a = 80$$

Angenommen wurde:

$$\begin{aligned} \text{Umfangsgeschwindigkeit des Rades} v &= 1.8^m \\ \text{Halbmesser des Rades} R &= 3^m \\ \text{Füllung des Rades} \frac{Q}{a b v} &= \frac{1}{2} \end{aligned}$$

Nun findet man zunächst nach Fig. 37 der kleinen Tafel 4, dass den gegebenen Elementen der Wasserkraft ein Schaufelrad mit Coulisseneinlauf entspricht, und für die Dimensionen desselben findet man:

$$\begin{aligned} \text{Verhältniss zwischen der Breite und Tiefe des Rades} . . . \frac{b}{a} &= 1.75 \sqrt[3]{N_a} = 7.54 \\ \text{Breite des Rades} b &= \sqrt[3]{\frac{2 Q}{v} \frac{b}{a}} = 4.15^m \\ \text{Tiefe des Rades} a &= \frac{b}{\left(\frac{b}{a}\right)} = 0.55 \\ \text{Entfernung zweier Schaufeln} e &= 0.2 + 0.7 a = 0.58 \\ \text{Anzahl der Schaufeln} i &= \frac{2 R \pi}{e} = 32 \\ \text{Anzahl der Arme eines Armsystems} n &= 2 (1 + R) = 8 \\ \text{Anzahl der Umdrehungen des Rades in 1 Minute} n &= 9.548 \frac{v}{R} = 5.73 \end{aligned}$$

Zur Berechnung der Querschnittsdimensionen der Arme der Welle und des Zahnkranzes ist angenommen worden, dass das Rad 70 Prozent, mithin $0.70 \times 80 = 56$ Pferdekraft Nutzeffekt geben werde.

Unter dieser Voraussetzung hat jedes von den Armsystemen J J₁, Fig. 2 Tafel VII, $\frac{1}{2} = 18 + \frac{1}{2}$ Pferdekraft nach der Welle herein, und das Armsystem J₁ $18 + \frac{1}{2} + 18 + \frac{1}{2} = 37 \frac{1}{2}$ Pferdekraft nach dem Zahnkranz hinaus zu übertragen. Die Wellenstücke w₁ w₂ haben, das erstere $18 + \frac{1}{2}$, das letztere $37 + \frac{1}{2}$ Pferdekraft durch Torsion zu übertragen.

Hinsichtlich dieser durch Torsion zu übertragenden Kraft wird also:

$$\begin{aligned} \text{Durchmesser des Wellenstückes } w_1 &= 16 \sqrt[3]{\frac{18.66}{5.73}} = 24^{\text{cm}} \\ \text{Durchmesser des Wellenstückes } w_2 &= 16 \sqrt[3]{\frac{37.33}{5.73}} = 30^{\text{cm}} \end{aligned}$$

Da jedes dieser drei Armsysteme mit 8 Armen versehen ist, so ist nach der Seite 163 angegebenen Regel und Tabelle:
Höhe der Hauptnerve eines Armes der Systeme J und J₁ $0.86 \times 24 = 20.52^{\text{cm}}$
Dicke derselben $\frac{1}{2} 20.52 = 10.26^{\text{cm}}$
27.

Höhe der Hauptnerve eines Armes des Systemes J₁ = $0.86 \times 30 = 25.65 \text{ cm}$
 Dicke derselben $\frac{1}{8} \times 25.65 = 5.13 \text{ cm}$
 Die Dicke der Bodenbretter ist = 5 cm
 Höhe des Kegelkranzes = 20.52

Zieht man diese zwei letzteren Dimensionen und den Werth von a von dem Halbmesser des Rades ab, so erhält man, wie aus Fig. 2 erhellet, vorläufig einen

Annäherungswerth für den Halbmesser des Zahnkranzes $R_1 = 2.17 \text{ m}$
 und vermittelt desselben findet man als

Annäherungswerth für die Geschwindigkeit eines Punktes im Theilriss des

Zahnkranzes $v \frac{R_1}{R} = 1.3 \text{ m}$

Druck am Umfange des Zahnkranzes $P = \frac{75 \times 56}{1.3} = 3230 \text{ km}$

Dimension eines Zahnes $\left\{ \begin{array}{l} \text{Dicke} = 0.086 \sqrt{3230} = 4.9 \text{ cm} \\ \text{Breite } 6 \times 4.9 = 29.4 \\ \text{Länge } \frac{1}{4} \times 29.3 = 7.33 \text{ m} \\ \text{Theilung } 2.1 \times 4.9 = 10.3 \text{ cm} \end{array} \right.$

Nachdem nun die Dimensionen der Zähne bestimmt sind, ergibt sich der genaue Werth des

Halbmessers von dem Theilriss des Zahnkranzes $R_1 = 2.15 \text{ m}$

Halbmesser des Getriebes L (Kolbens) $r = \frac{R_1}{3.5} = 0.615 \text{ m}$

Anzahl der Umdrehungen desselben in einer Minute = $3.5 \times n = 20$

Durchmesser der Kolbenwelle M = $16 \sqrt[3]{\frac{60}{20}} = 23 \text{ cm}$

Um die Zapfen zu bestimmen, muss man vermittelt der nun berechneten Hauptdimensionen das Rad verzeichnen und dann das Gewicht desselben berechnen, um die Pressungen zu erhalten, welchen die Zapfen zu widerstehen haben. Nach der später folgenden Gewichtsrechnung ist das

Totale Gewicht des Rades = 22551 kg

Gewicht des Zahnkranzes = 3773 „

Druck, welchem der Zapfen a zu widerstehen hat = 9389

Durchmesser dieses Zapfens a = $0.18 \sqrt{9389} = 17.5$

Druck, welchem der Zapfen a₁ zu widerstehen hat = 13162

Durchmesser dieses Zapfens a₁ = $0.18 \sqrt{13162} = 20.7 \text{ cm}$

Winkel, unter welchem die Coulissen dem Umfange des Rades begegnen $\delta = 25^\circ$

Die äussere normale Weite der Coulissen-Kanäle ist = 0.08 m

Breite des Einlaufes = $b - 0.1 = 4.05 \text{ m}$

Tiefe der Mittelpunkte der Ausflussöffnungen unter dem Spiegel des Oberwassers $\left\{ \begin{array}{l} \text{für den 1ten Kanal} = 0.315 \text{ m} \\ \text{„ „ 2ten „} = 0.480 \text{ m} \\ \text{„ „ 3ten „} = 0.645 \text{ m} \\ \text{„ „ 4ten „} = 0.800 \text{ m} \end{array} \right.$

Den Contractionscoefficienten = 0.75

angenommen, findet man:

Die Wassermenge, welche durch jeden dieser Kanäle austritt $\left\{ \begin{array}{l} \text{für den 1ten Kanal} = 0.603 \text{ km} \\ \text{„ „ 2ten „} = 0.746 \text{ „} \\ \text{„ „ 3ten „} = 0.865 \text{ „} \\ \text{„ „ 4ten „} = 0.962 \text{ „} \end{array} \right.$

Die Wassermenge der drei ersteren Kanäle ist = 2.214 „, also etwas grösser als die in 1 Sekunde zufließende Quantität; der untere Kanal dient also für den Fall, wenn der Wasserstand etwas veränderlich sein sollte.

Die Tiefe des Punktes, in welchem die vierte Coulisse dem Umfange des Rades begegnet unter dem Spiegel des Oberwassers ist = 0.75 m

Die Geschwindigkeit, mit welcher daselbst das Wasser eintritt $V = 3.83 \text{ m}$

Hiermit sind nun alle wesentlicheren Grössen bestimmt, welche zur Berechnung des Nutzeffektes und zur Verzeichnung des Rades dienen. Alle Nebenabmessungen, namentlich die Dicke der Bretter und die Metaldicken des Einlaufes, der Kegelkränze, der Rosetten etc., so wie auch die Durchmesser der Schraubenbolzen sind nach praktischen Erfahrungen angenommen worden und bedürfen keiner näheren Erklärung.

Berechnung des Nutzeffektes des Rades.

Zur Berechnung des Nutzeffektes hat man folgende Daten:

H = 3	Q = 2	v = 1.8 m	V = 3.83 m
R = 3 m	a = 0.55 m	b = 4.15 m	e = 0.23 m
e = 0.59 m	s = 0.15 m	S = 4 m	h = 0.3 m
$\gamma = 75^\circ$	$\delta = 25^\circ$	$\beta = 65^\circ$	i = 32
$\epsilon = 0.01 \text{ m}$	f = 0.08	d = 0.175 m	d ₁ = 0.207 m

Der Spielraum der Schaufeln im Gerinne ist hier sehr klein angenommen worden, weil das Rad von Eisen und das Gerinne von behauenen Steinen gemacht ist.

Nun findet man:

den absoluten Effekt, welcher der Wasserkraft entspricht:

$$1000 Q H \dots\dots\dots = 6000 \text{ Kilg.} = E_a$$

Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht:

$$\frac{1000 Q}{2 g} \left\{ \frac{V^2 - 2 V v \cos \delta + v^2}{2 g} + \left[\frac{1}{2} e \sin \gamma + c \sin (\gamma - \beta) - s \right] \right\} \dots\dots\dots = 0.150 E_a$$

Effektverlust, welcher bei dem Austritt des Wassers entsteht:

$$1000 Q \left(\frac{v^2}{2 g} + \frac{1}{2} h \right) \dots\dots\dots = 0.105 E_a$$

Effektverlust, welcher durch das Entweichen des Wassers entsteht:

$$1000 \varepsilon b R \sqrt{2 g e} \left(1 - \cos \gamma\right) \left(0.43 + 0.26 \frac{Q}{a b v}\right) \dots = 0.029 E_a$$

Effektverlust wegen der Reibung des Wassers am Gerinne:

$$0.366 b S v^3 \dots = 0.006 E_a$$

Effektverlust wegen des Luftwiderstandes:

$$0.118 i a b v^3 \dots = 0.008 E_a$$

Effektverlust wegen der Zapfenreibung:

$$\frac{v f}{2 R} (9389 d + 13162 d_1) \dots = 0.017 E_a$$

Summe der Effektverluste $\dots = 0.315 E_a$

Nutzeffekt des Rades $\left\{ \begin{array}{l} E_a = 0.685 E_a \\ E_a = 4110 \text{ km} \\ N_a = 54.8 \text{ Pfkft} \end{array} \right.$

Dieses Resultat ist nicht sehr günstig. Hätte man die Umfangsgeschwindigkeit des Rades und der Schaufeltheilung kleiner, dagegen die Radbreite grösser angenommen, und hätte man überdies die Schaufeln auf v_a im Unterwasser tauchen lassen, so würde der Nutzeffekt um 10 Prozent günstiger geworden sein, allein der ganze Bau würde dadurch bedeutend, vielleicht um die Hälfte, kostspieliger geworden sein. Die Richtigkeit dieser Behauptung kann man leicht nachweisen, wenn man nach den Formeln, welche (Seite 97) bei der genaueren Theorie dieses Rades aufgestellt wurden, die Dimensionen berechnet, die dem Maximum des Nutzeffektes entsprechen.

Nimmt man an:

$$\frac{Q}{a b v} = 0.5, \quad e = 0.4, \quad \varepsilon = 0.01, \quad \gamma = 80^\circ, \quad Q = 2, \quad H = 3,$$

so gibt zunächst die Formel (45)

$$k = \varepsilon \sqrt{2 g e} \left(0.43 + 0.26 \frac{Q}{a b v}\right) \frac{2 g}{0.443} = 0.733$$

dann findet man aus (50):

$$\left(H - \frac{V^2}{2 g}\right)^{\frac{1}{2}} V^3 = \frac{5}{2} g k \sin \gamma H^{\frac{3}{2}} \dots \quad V = 2.638$$

ferner aus (51)

$$\sin \delta = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{H - \frac{V^2}{2 g}}{H}} \dots \quad \delta = 41^\circ + 33'$$

$$v = \frac{1}{2} V \cos \delta \dots \quad v = 0.987$$

endlich aus (52)

$$\frac{b}{Q} = \frac{2 \times g}{0.42} \frac{\sin \gamma}{\sin \delta} \frac{1}{V^3} \dots \quad \frac{b}{Q} = 3.78$$

$$\text{folglich für } Q = 2 \dots \quad b = 7.56$$

$$\text{endlich ist } a = \frac{2 Q}{b v} \dots \quad a = 0.53$$

Nimmt man nun ferner noch an:

$$\begin{array}{llll} \beta = 60^\circ & c = 0.2 & s = 0.12 & h = 0 \\ i = 48 & S = 4 & R = 3 & f = 0.08 \end{array}$$

so findet man für die Effektverluste folgende Werthe:

Effektverlust bei dem Eintritt	$\dots = 0.1134 E_a$
Effektverlust bei dem Austritt	$\dots = 0.0050 E_a$
Effektverlust wegen des Entweichens	$\dots = 0.0524 E_a$
Effektverlust wegen des Luftwiderstandes	$\dots = 0.0037 E_a$
Effektverlust wegen der Wasserreibung	$\dots = 0.0018 E_a$
Effektverlust wegen der Zapfenreibung	$\dots = 0.0143 E_a$
Summe der Effektverluste	$\dots = 0.1906 E_a$
Nutzeffekt des Rades	$\left\{ \begin{array}{l} E_a = 0.8094 E_a \\ N_a = 64.7 \end{array} \right.$

Der Nutzeffekt würde also bei diesem Rade um 12 Prozent, also um 9.6 Pferdekraft grösser sein, als bei dem vorhergehenden Rade, allein diese 9.6 Pferdekraft würde man sehr theuer erkaufen müssen, denn bei der enormen Breite des Rades 7.56m wird nicht nur der Bau des Rades, sondern insbesondere auch jener des Gerinnes und des Einlaufes sehr kostspielig werden.

In dem Falle, wenn es von sehr grosser Wichtigkeit wäre, mit einem absoluten Effekt von 80 Pferden einen möglichst günstigen Nutzeffekt zu gewinnen, müsste man den Bau allerdings nach den zuletzt berechneten Dimensionen ausführen, da aber eine Breite von 7.56m fast unausführbar ist, so würde man zwei Räder, jedes von $\frac{1}{2} \cdot 7.56 = 3.78$ m Breite anwenden müssen. Der Werth von $R, a, c, e, i, \beta, \gamma, \delta$ würde sich dadurch nicht ändern, die Querschnittsdimensionen der Arme der Welle des Zahnkranzes etc. müssten aber für eine Kraft von 32.3 Pferden berechnet werden. Jedes dieser Räder würde nahe eben so schwer ausfallen, als das auf Tafel VII. dargestellte Rad. Denn bei ersterem ist zwar der Effekt im Verhältniss $\frac{32.3}{54.8}$, aber auch die Umfangsgeschwindigkeit im Verhältniss $\frac{0.987}{1.8}$ kleiner als bei letzterem; der am Umfange wirkende Druck, von welchem die Querschnittsdimensionen abhängen, ist also bei beiden Rädern nahe gleich gross; die zwei Räder werden also doppelt so viel kosten, als das eine Rad. Die

Gerinne und Einläufe für diese zwei Räder würden ebenfalls zweimal so viel kosten, als für das eine Rad. Endlich würden die zwei langsam gehenden Räder auch noch eine weit kostspieligere Transmission verursachen, als das schneller gehende Rad. Man sieht also, dass der Bau zur Gewinnung eines Nutzeffektes von 647 Pferdekraften vermittelt zweier Räder zwei mal so viel kosten würde, als der Bau zur Gewinnung von 548 Pferdekraften vermittelt eines Rades. Zur Ausführung des ersteren würde man sich gewiss nur dann entschliessen, wenn mit der kleineren Kraft ein wichtiger Zweck durchaus nicht erreicht werden könnte.

Kostenberechnung des Rades mit Coulisseneinlauf.

Das Rad.

Holz.	Gewicht in Kilogramm.
Schaufeln	3055
Radboden	3025

Gusseisen.

3 Kegelkränze	3892
16 leichtere und 8 stärkere Arme	4608
3 Rosetten	1238
Die Welle	2160
Der Zahnkranz	3776

Schmiedeeisen.

Schrauben zu den Schaufeln und zum Boden	480
Schrauben zu den Armen	96
Schrauben zum Zahnkranz	48
Bänder zu den Schaufeln und zum Boden	173
Das totale Gewicht des Rades	22551
2 Lager zur Axe sammt Lagerplatte	317

Der Einlauf.

Gusseisen.

Die Traverse	432
2 Seitenschilde	325
2 Zwischenschilde	162
2 Kappen	41
2 Zahnstangen	35

	Gewicht in Kilogramm.
3 Zwischenwände	531
2 Lager für den Schützenzug	15
2 Getriebe und Wellen	8
Summe	1549

Schmiedeeisen.

12 Leitflächen aus Blech	398
Axe des Schützenzuges	25
Schrauben zu den Verbindungen	37
Summe	460
Radeinlauf und Zapfenlager wiegen also zusammen mit Holz	24877 Kilg.
ohne Holz	18797 „

Im Durchschnitt darf man annehmen, dass bei solider Ausführung für 100 Kilg. Eisen 44 Gulden bezahlt werden müssten.
Die Kosten der Eisenconstruktion sind demnach 8270 fl.
Kosten der Eisenconstruktion per 1 Pferdekraft Nutzeffekt = 151 fl.
Das Gewicht des Rades beträgt per 1 Pferdekraft Nutzeffekt mit Holz = 411 Kilg.
ohne Holz = 343 „

Beschreibung der Details des Rades und Einlaufes.

Tafel XI. enthält die einzelnen Bestandtheile, aus welchen der Einlauf besteht.
Fig. 1, 2, 3 sind zwei Ansichten und ein Durchschnitt eines Seitenschildes.
Fig. 4, 5, 6, 7 sind drei Ansichten und ein Durchschnitt eines Zwischenschildes.
Fig. 8 ist eine Ansicht von der Hälfte der oberen Traverse, welche die vier Schilde unter einander verbindet.

Fig. 9 ist ein Durchschnitt derselben.
Fig. 10 und 11 sind zwei Ansichten von einer der drei Wände, welche zwischen die Schilde gestellt, und mit denselben durch Schrauben verbunden sind.
Fig. 12, 13, 14, 15 stellen Ansichten und Durchschnitte von einer der gusseisernen Fassungen dar, mit welchen die Enden des aus zwei starken Brettern bestehenden Schützens versehen sind, und die bei der Bewegung desselben in den Leitritten a der Seitenschilde auf und nieder gleiten.

Fig. 16, 17, 18, 19, 20 sind Ansichten und Durchschnitte von einer der beiden Zahnstangen, welche mit den Fassungen des Schützens in Verbindung stehen und zur Bewegung desselben dienen.

Fig. 21 und 22 ist eine Leitfläche des Einlaufes.
Fig. 23 und 24 sind zwei Ansichten von einem der zwei Lager, in welchem sich die Axe der Getriebe dreht, welche in die Zahnstangen eingreifen.

Fig. 25 ist eines dieser Getriebe.

Fig. 26 ist eine Gegenrolle, welche Zahnstangen und Getriebe im Eingriff zu erhalten hat.

Die Traverse liegt mit ihrer horizontalen Nerve auf den Kopfflächen b der Zwischenschilde, und berührt mit ihren vertikalen Endflächen c die oberen Endflächen a der Seitenschilde. Die Berührungsflächen sind mit eben gehobelten Rändern versehen, und durch Schrauben mit einander verbunden. Damit aber diese Schrauben nicht stark in Anspruch genommen sind, ist die Traverse mit den Ansätzen e und f versehen, welche in die Ausschnitte e und f der Schilde eingreifen. Zur Verbindung der beiden Hauptnerven, aus welchen die Traverse besteht, dienen zwei Strebenerven g .

Die Seitenschilde liegen mit ihren Leitinnen a in den Seitenmauern des Zuflusskanals, und sind unten bei g gegen die Quader des Gerinnes geschraubt.

Die Zwischenschilde stemmen sich aber mit den Ausschnitten f gegen die Ansätze f der Traverse, und sind unten bei h mit zwei Schrauben gegen die Quader des Gerinnes geschraubt.

Zur genauen Verbindung der Wände und Schilde sind die zu verbindenden Flächen mit etwas über dieselben hervorragenden und eben gehobelten Säumen i versehen. Zur Verbindung eines Wandstückes mit einem Seitenschild und zur Verbindung zweier Wandstücke mit einem Zwischenschild dienen vier Schrauben.

An den Flächen der Schilde sind ferner noch gekrümmte Nuthen i , i , angebracht, die durch hervorgehende Säume gebildet und in welche die Leitbleche eingeschoben werden.

Die Lager für die Axe des Aufzuges sind auf die Kopfflächen der Seitenschilde angeschraubt.

Tafel X.

Fig. 1 und 2 sind zwei Ansichten eines Zahnkranzsegmentes.

Fig. 3 und 4 zwei Ansichten von einem der stärkeren Radarme.

Fig. 5 ein Durchschnitt von einem dieser Arme.

Fig. 6 und 7 Ansicht und Durchschnitt der grösseren auf der Seite des Zahnkranzes befindlichen Rosette.

Fig. 8 und 9 Ansicht und Durchschnitt von einer der beiden kleineren Rosetten.

Fig. 10 Ansicht eines der leichteren Radarme.

Fig. 11 bis 17 Ansichten und Durchschnitte von einem Kegelkranzsegmente.

Zur Verbindung der acht Zahnkranzsegmente unter einander ist jedes derselben an den Enden mit Flantschen k versehen, die ebengehobelten Säume haben Fig. 2. Die Flantschen zweier auf einander folgenden Segmente berühren sich mit diesen Säumen und sind durch zwei Schrauben verbunden. Zur Verbindung der Zahnkranzsegmente mit dem Kegelkranze sind an den Enden der unteren Flächen der Zahnsegmente, und in der Mitte der Kegelsegmente glatt gehobelte Rähmchen k , ferner an der letzteren auch noch die hervorragenden Ansätze k , Fig. 12, angebracht; die Rähmchen zweier unmittelbar auf einander folgender Zahnsegmente kommen auf jene der Kegelsegmente zu liegen und werden an diese durch Schrauben befestigt.

Um die Verschiebung der Segmente auf einander zu verhindern, dienen vorzugsweise die Ansätze k , k , welche die Zahnsegmente fassen und mit sich fortnehmen. Auf diese Weise haben die Verbindungsschrauben nur wenig auszuhalten.

Zur Verbindung der Arme mit den Kegelkränzen sind an den letztern Ansätze angebracht, welche von den ersteren angefasst werden. Auch sind zu diesem Zweck noch Schrauben vorhanden. Die Einrichtung, welche die Arme zum Anfassen der Kränze haben, sieht man an den Fig. 3, 4, 10, 13, 14, Tafel X. und an den Figuren der Tafeln VIII. und IX.

Die Arme sind in die Rosetten so eingelegt, dass die Flächen m m n n der ersteren, mit den Flächen m , m , n , n , der letzteren in Berührung kommen; zu diesem Zweck sind die Flächen eben gefeilt oder gehobelt worden. Die Arme sind mit dünnen Bleiblättern unterlegt, damit man durch das Anziehen der Schrauben, welche die Arme gegen die Rosetten andrücken, die Stellung der Arme gegen die Welle etwas adjustiren kann.

Tafel IX.

zeigt bei o o , o , die Verbindungen des Radbodens, der Radarme und des Zahnkranzes mit den Kegelkränzen. Ferner bei k k , k , die Verbindungen der Radarme j j , j , mit den Rosetten, sodann die Aufkeilung der letzteren auf die, nur stückweise dargestellte Welle. Man sieht, dass zur Befestigung jeder Rosette nur ein Keil angewendet ist. Die Wellenköpfe r r , r , sind abgedreht und passen genau in die ausgebohrten Höhlungen der Hülsen von den Rosetten. Die Theile q q , der Welle zwischen den Zapfen und den äusseren Rosetten sind so geformt, dass sie annähernd in allen Querschnitten gleiche Festigkeit gewähren. s s , sind die Durchschnitte der Lagerplatten. Auf der Seite des Zahnkranzes liegen die Zapfenlager für die Wasserradwelle und für die Kolbenwelle auf einer gemeinschaftlichen Lagerplatte.

Tafel VIII.

ist ein Quadrant des Rades in $\frac{1}{5}$ der natürlichen Grösse. Man sieht hier die Einrichtung des Einlaufes, die Verbindung der Schaufel- und Bodenbretter mit dem Kegelkranze; die Verbindung der leichten und starken Arme mit den Kegelkränzen und mit der Rosette; die Verbindung dieser letzteren mit der Welle; endlich auch der Lagerplatte s , auf welcher das eine Lager für die Wasserradwelle, und jenes für die Kolbenwelle aufliegen.

Tafel XII. bis XVII.

Rückschlächtiges Zellenrad mit Coulisseneinlauf.

Beschreibung des Baues im Allgemeinen.

Tafel XII. Ansicht und Durchschnitt des Rades.

Tafel XIII. Durchschnitt des Einlaufs und eines Theils des Rades.

Tafel XIV. Einzelne Bestandtheile des Rades.

Tafel XV. Einlauf und Gerinne. Eisenconstruktion.

Tafel XVI. Einlauf und Gerinne. Holzconstruktion.

Das Rad ist ganz von Eisen, nur die Zellenwände sind von Holz. Es hat ventilirte Zellen; einen Zahnkranz mit äusserer Verzahnung; schmiedeiserne radiale Arme; Diagonal- und Umfangs-Spannstangen, ist also nach dem Suspensionsprincip gebaut. Der Einlauf wird durch zwei gusseiserne Seitenwände, einen Mittelschild, eine Verbindungstraverse und durch mehrere Leitflächen aus Eisenblech gebildet. Das Gerinne besteht aus drei auf Mauern aufliegenden mit den Seitenwänden und mit dem Mittelschild des Einlaufs verbundenen gusseisernen Schilden, welche den Boden des Gerinnes in concentrischer Lage gegen die Axe des Rades halten. Da die Construktion dieses Einlaufes und Gerinnes zwar sehr solid aber auch ziemlich kostspielig ist, so ist auch noch auf Tafel XVI. eine minder kostspielige Holz-Construktion dargestellt.

Berechnung der Dimensionen des Rades und Einlaufs.

Die Hauptdaten für die Construktion des Rades sind:

Das Gefälle	$H = 5.15^m$
Wassermenge in 1 Sekunde	$Q = 1^{km}$
Absoluter Effekt der Wasserkraft	$N_a = 68.67$

Angenommen wurde:

Umfangsgeschwindigkeit des Rades	$v = 1.2^m$
Füllung des Rades	$\frac{a \cdot b \cdot v}{Q} = \frac{1}{2}$

Den angegebenen Elementen der Wasserkraft entspricht ein rückschlächtiges Zellenrad mit Coulisseneinlauf.

Nun ergeben sich zunächst folgende Grössen:

Verhältniss zwischen der Breite und Tiefe des Rades	$\frac{b}{a} = 2.25 \sqrt[3]{N_a} = 9.2$
Breite des Rades	$b = \sqrt{\frac{2 \cdot Q \cdot b}{v \cdot a}} = 3.92^m$
Tiefe des Rades	$a = \frac{b}{9.2} = 0.426^m$
Radius des Rades	$R = \frac{1}{2} H = 3.433^m$

Zellentheilung $e = 0.2 + 0.7 a = 0.498^m$

Anzahl der Zellen $i = \frac{2 R \pi}{e} = 44$

Anzahl der (radialen) Arme eines Armsystems $\mathfrak{A} = 2 (1 + R) = 9$

Der Halbmesser des Theilrisses des Zahnkranzes ist nach der Zeichnung $R_1 = 3.25^m$

Die Geschwindigkeit in diesem Theilriss ist $v \frac{R_1}{R} = 1.126$

Nimmt man vorläufig das Verhältniss zwischen dem Nutzeffekt und dem absoluten Effekt $= 0.7$

an, so ist der Druck, welchen die Zähne des Zahnkranzes und des Getriebes auszuhalten haben $\frac{68.67 \times 0.7 \times 75}{1.126} = 3190^{kg}$

es sind demnach die

Dimensionen der Zähne	Dicke $z = 0.086 \sqrt[3]{3190}$	$= 4.86^{cm}$
	Breite $z_1 = 6 z$	$= 29.16^{cm}$
	Länge $z_2 = \frac{1}{4} z_1$	$= 7.29^{cm}$
	Theilung $z_3 = 2.1 z$	$= 10.21^{cm}$

Um die Durchmesser der Arme zu bestimmen, muss man mit den bis hieher berechneten Grössen den ganzen äusseren Theil des Rades mit allen daselbst vorkommenden Verbindungen genau verzeichnen und dann das Gesamtgewicht aller Theile berechnen.

Nach der später folgenden Gewichtsbestimmung des Rades beträgt das Gewicht aller äusseren Theile des Rades 20000 Kilg.

An einem Armsystem hängen demnach 10000 „

Nach der Seite 165 angegebenen Regel ist nun der Querschnitt eines

radialen Armes	$= \frac{10000}{500} = 20^{cm}$
Durchmesser eines radialen Armes	$= 5^{cm}$
Durchmesser einer Diagonalstange	$= \frac{3}{4} 5 = 3.75^{cm}$
Durchmesser einer Umfangsstange	$= 0.6 \times 5 = 3^{cm}$

Aus der Gewichtsbestimmung des Rades findet man die Pressungen, welche die Zapfen auszuhalten haben $\left. \begin{matrix} 14600 \text{ Klg.} \\ 12500 \text{ „} \end{matrix} \right\}$

Die Durchmesser der Zapfen sind demnach $\left. \begin{matrix} 0.18 \sqrt[3]{14600} = 21.8^{cm} \\ 0.18 \sqrt[3]{12500} = 20.14^{cm} \end{matrix} \right\}$

Länge der Zapfen (der aufliegenden Theile) $\left. \begin{matrix} = 26^{cm} \\ = 23.4 \end{matrix} \right\}$

Entfernungen der Mittelpunkte der Zapfen von den Mittelpunkten der Rosetten $\left. \begin{matrix} = 52^{cm} \\ = 27.4^{cm} \end{matrix} \right\}$

Die Durchmesser der Köpfe, auf welchen die Rosetten auf-gekeilt sind, sind also nach der Seite 168 angegebenen Regel $\left. \begin{matrix} 21.8 \sqrt[3]{\frac{52}{\frac{1}{2} 23.4}} = 34.6^{cm} \\ 20.14 \sqrt[3]{\frac{27.4}{\frac{1}{2} 23.4}} = 26.75^{cm} \end{matrix} \right\}$

Nach den Regeln, welche Seite 170 zur Bestimmung der Dimensionen der mittleren Querschnitte der Welle aufgestellt wurden, findet man mit Beibehaltung der dort gewählten Bezeichnungen.

Verhältniss zwischen der Höhe und Dicke der Nerve $\frac{h}{e} = 4.5 + 1.5 \times 3.92 = 10.5$

Verhältniss zwischen dem Durchmesser des Kernes und

der Dicke der Nerve $\frac{D_1}{e} = 6.75 - 0.75 \times 3.92 = 3.8$

Verhältniss zwischen dem Durchmesser des stärkeren Wellenkopfes und der Dicke der Nerve:

$$\frac{D}{e} = \sqrt[3]{\frac{32}{6 \times 3.14} (0.589 (3.8)^4 + (10.5)^3 - (3.8)^3 + 10.5 - 3.8)} \frac{1}{10.5} = 6.92$$

Demnach erhält man nun:

Dicke der Nerve $e = \frac{34.6}{6.92} = 5 \text{ cm}$
 Höhe der Nerve $h = 10.5 = 52.5 \text{ cm}$
 Durchmesser des Kernes $D_1 = 3.8 e = 19 \text{ cm}$

Zur Berechnung der Kolbenwelle hat man noch

Anzahl der Umdrehungen des Wasserrades in 1 Minute $n = 9.548 \frac{v}{R} = 33.3$

Verhältniss zwischen den Halbmessern des Zahnkranzes und des Getriebes $= 4$

Halbmesser des Getriebes $= \frac{3.25}{4} = 0.812 \text{ cm}$

Durchmesser der Kolbenwelle $= 16 \sqrt[3]{\frac{48}{13.32}} = 24 \text{ cm}$

Die Coulissen des Einlaufs sind nach dem Seite 150 erklärten Verfahren so bestimmt worden, dass die äusseren Zellenwände ohne Stoss in den Strahl einzutreten beginnen. Zwei Kanäle reichen für den Wasserzufluss von 1 Kub. M. vollkommen hin. Nach der Konstruktion des Einlaufes ist:

Der Winkel, unter welchem die Coulissen dem Umfang des Rades begegnen $\delta = 28^\circ$

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Wassertheilchen der unteren Fläche des Strahles dem Umfange des Rades begegnen $v = 3.62$

Dies sind nun die Hauptdimensionen, welche der Verzeichnung des Rades zu Grunde gelegt wurden; alle Nebendimensionen sind theils nach dem Gefühle, theils nach Erfahrungen gewählt worden, und bedürfen keiner näheren Erklärung.

Effektberechnung des Rades.

Zur genaueren Berechnung des Nutzeffektes des Rades hat man folgende Daten:

$H = 5.15 \text{ m}$	$Q = 1 \text{ km}$	$v = 1.2$	$V = 3.62$
$R = 3.43 \text{ m}$	$a = 0.426 \text{ m}$	$b = 3.92 \text{ m}$	$c = 0.5 \text{ m}^*$
$e = 0.48 \text{ m}^*$	$s = 0.2 \text{ m}^*$	$S = 2.5 \text{ m}^*$	$h = 0.12 \text{ m}^*$
$\gamma = 110^\circ$	$\delta = 28^\circ$	$\beta = 27^\circ$	$i = 45$
$\varepsilon = 0.015 \text{ m}^*$	$f = 0.08$	$h = 20.14 \text{ cm}$	$d_1 = 21.18 \text{ cm}$

wobei die mit * bezeichneten Grössen aus den Zeichnungen genommen worden sind.

Nach den Seite 102 aufgestellten Formeln erhält man nun den absoluten Effekt, welcher der Wasserkraft entspricht:

$$1000 Q H = \dots \dots \dots E_a = 5150 \text{ kgm}$$

Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht:

$$1000 \frac{Q}{2g} \left\{ v^2 - 2 v v \cos \delta + v^2 + 2g \left[\frac{1}{2} e \sin \gamma + c \sin (\gamma - \beta) - s \right] \right\} = 0.169 E_a$$

Effektverlust, welcher bei dem Austritt des Wassers entsteht:

$$1000 Q \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2} h \right) = 0.026 E_a$$

Effektverlust, welcher durch das Entweichen entsteht:

$$464 \varepsilon R \sqrt{2g} e \frac{Q}{a b} = 0.009 E_a$$

Effektverlust welcher der Reibung des Wassers entspricht:

$$0.366 b S v^3 = 0.001 E_a$$

Effektverlust, welcher durch die Zapfenreibung entsteht:

$$7.63 \frac{v}{R} f N \sqrt{N} = 0.014 E_a$$

Summe der Effektverluste $0.219 E_a$

Nutzeffekt des Rades $\left\{ \begin{array}{l} 0.781 E_a \\ 4022 \text{ Klgm.} \\ 53.6 \text{ Pferdekraft.} \end{array} \right. \quad 78\% \text{ Wirk.-Eff.}$

Aus dieser Rechnung sieht man, dass nur bei dem Eintritt des Wassers ein bedeutender Effektverlust entsteht. Dieser Verlust könnte auch hier wiederum sehr vermindert werden, wenn die Breite des Rades grösser und a, e, c kleiner genommen würde; allein der Vortheil, welcher hieraus entstünde, wäre in gar keinem Verhältnisse mit dem Kostenaufwand, durch welchen er erkauft werden müsste.

Gewichtsbestimmung und Kostenberechnung des Rades.

a. Das Rad.

<i>Holz.</i>	Gewicht in Kilogramm.
Gewicht der Bretter, welche die Zellen bilden	9561
<i>Gusseisen</i>	
Das Seitengetäfer des Rades	3658
Die 90 Sperrrahmen zur Verbindung der Zellenwände	1530
Der Zahnkranz	2895
2 Rosetten	2060
Die Welle	2720
3 Zapfenlager sammt Lagerplatten	400
	13263
<i>Schmiedeeisen.</i>	
18 radiale Arme	1080
18 Diagonalstangen	1800
9 Umfangstangen	302
Reifeisen zu den Zellen	324
Schrauben und Keile	250
	3756
b. Der Einlauf.	
<i>Gusseisen.</i>	
2 Seitenwände	720
Der Mittelschild	95
Die obere Traverse	310
Die untere Traverse	230
2 Kappen und 2 Zahnstangen	70
	1425
<i>Schmiedeeisen.</i>	
6 Leitflächen	305
Axe der Getriebe zu dem Aufzug	25
	330
c. Das Gerinne.	
Bretter des Bodens	1512
Drei durchbrochene Schilde	1847
3 Schraubenstangen	36

Gesamtgewicht des Baues.

An Holz	11 Kub. M.
An Gusseisen	16535 Kilg.
An Schmiedeeisen	4122 „
An Eisen überhaupt	20657 „
An Eisen per Pferdekraft Nutzeffekt	325 „
100 Kilogramme verarbeitetes Eisen kann man bei diesem Rade	
anschlagen zu	fl. 50
Die Eisenconstruktion des ganzen Baues kostet demnach	„ 10328
Die Eisenconstruktion per Pferdekraft Nutzeffekt	„ 162

Beschreibung der einzelnen Theile des Rades.

Tafel XV.

Der Zuflusskanal tritt durch eine überwölbte Maueröffnung *a* in die Radstube ein. Er wird durch drei überwölbte Mauern *b b, b₁* getragen und der in der Radstube befindliche Theil desselben wird durch einen Boden aus Steinplatten *c c* und Brettern *c*, und durch zwei gusseiserne Seitenwände *c₁ c₂* gebildet. Der Einlauf wird gebildet durch die beiden Seitenwände *c₁*, den Mittelschild *d*, die obere Traverse *d*, die beiden unteren Traversen *d₁* und durch die Leitflächen *d*, aus Eisenblech. Der Mittelschild ist oben gegen die Traverse *d*, unten gegen den Mittelschild *e*, des Gerinnes geschraubt. Die obere Traverse ist gegen die Seitenwände, die unteren Traversen sind gegen die Seiten- und gegen den Mittelschild geschraubt. Die Leitflächen *d*, sind in Nuthen eingeschoben, welche an den Wänden und an dem Mittelschild angebracht sind. Das Gerinne wird durch die eisernen auf den Mauern *b b, b₁* aufsitzenden Schilde *e e₁ e₂*, welche den Boden *e*, des Gerinnes tragen, gebildet. Jeder dieser Schilde besteht, wie Fig. 2 zeigt, aus den durch Schrauben unter einander verbundenen Theilen. Der untere Theil liegt horizontal auf. Der mittlere Theil liegt grösstentheils auf einer schiefen Mauerfläche, nur die Enden desselben liegen horizontal auf. Der obere Theil sitzt auf dem mittleren und ist noch durch eine Schraube *e*, gegen das Mauerwerk geschraubt.

Die Bodenbretter des Gerinnes werden von unten herauf in die Schilde eingelegt und durch krumme hölzerne Segmente *e*, zwischen die Nerven der Schilde eingeklemmt, was man am deutlichsten aus Fig. 5 sieht.

Diese Einrichtung gewährt den Vortheil, dass man in jedem Augenblick den Zustand des Gerinnes untersuchen und schadhaft gewordene Theile mit Leichtigkeit erneuern kann, ohne das Rad demontiren zu müssen.

Da wo die Schilde *e e₁ e₂* aufsitzen sind die Mauern *b b, b₁* nach der unteren Contour der Schilde ebenflächig, neben den Schilden aber nach dem Umkreis des Zahnkranzes rund geformt, was man am deutlichsten aus Fig. 1, Tafel XV. ersieht. Für den Kolben ist in dem Mauerwerk noch ein besonderer Einschnitt *f*, Fig. 1, Tafel XII., angebracht.

Auf der Seite des Rades, auf welcher sich der Zahnkranz befindet, ist die Lager-

platte *g* für die Radwelle, mit jener *g*, für die Kolbenwelle durch Schrauben verbunden, wodurch sich die Lage des Kolbens gegen den Zahnkranz nicht ändern kann. Die letztere dieser Platten ist mit zwei durch das Quaderwerk niedergehende Schrauben *h h*, Fig. 2 und 5, niedergezogen, die erstere liegt nur auf den Quadern, und ist nicht gegen dieselben niedergeschraubt. Der gepflasterte Boden *i* unter dem Gerinne liegt tiefer als die Pflasterung *i*, des Abzugkanals, damit man zu den unteren Brettern des Gerinnes kommen kann.

i, ist ein Quadersatz, durch welchen die Mauern *b b*, *b*, zu einem Ganzen verbunden werden.

Tafel XVI.

zeigt in mehreren Figuren eine Holzkonstruktion zweier Einläufe und eines Gerinnes zu dem rückschlächtigen Zellenrade. Was die Figuren darstellen, ist schon auf der Tafel beschrieben.

a Fig. 1 und 2 ist die Mauer, durch welche der Zuflusskanal in die Radstube eintritt. *b* ist der Boden des Zuflusskanals von der Radstube. Vor der Mauer *a* ist ein aus drei horizontalen Balken *b*, aus drei vertikalen Säulen *b*, und aus der Verschalung *b*, bestehendes Rahmwerk angebracht. Innerhalb der Mauer *a* befindet sich ein ähnliches Rahmwerk *b*, *b*, *b*, mit Verschalung *b*. Diese beiden Rahmwerke sind durch acht Hölzer *b*, und durch eben so viele Schraubenstangen verbunden. Mit den Hölzern *b*, sind die Bretter *b*, *b*, und *b* verbunden, welche die Fortsetzung der Wände und des Bodens des Zuflusskanales bilden. Bei dem Einlauf Fig. 2 sind die Leitflächen *b*, von Eisenblech; bei dem Einlauf Fig. 5 sind sie von Holz. Der Bau des Gerinnes ist ähnlich dem eines Fasses. *c c c c* sind vier in die Seitenmauern eingemauerte Balken, in welche die Krummhölzer *c*, eingelegt und mit Schrauben *c*, niedergezogen sind.

Die Bretter *c*, welche den Boden des Gerinnes bilden, sind von unten herauf in die Krummhölzer eingelegt, und werden durch vier schmiedeeiserne Bänder zusammengehalten und gegen die Krummhölzer angedrückt. Wie die Bodenbretter in die Krummhölzer eingelegt sind, sieht man am deutlichsten in Fig. 1. Jedes der vier Bänder kann durch zwei Schrauben *c*, *c*, gespannt werden. Unter dem Gerinne ist ein freier Raum, nach welchem man durch eine kleine Thüre gelangen kann; man kann also bei dieser Anordnung den Zustand des Gerinnes in jedem Augenblick (auch während das Rad im Gange ist), untersuchen, und die nothwendig erscheinenden Reparaturen und Auswechslungen der Bodenbretter mit Leichtigkeit vornehmen, ohne das Rad demontiren zu müssen. Der gepflasterte Boden des Raumes unter dem Gerinne liegt tiefer, als der Boden *r* des Abflusskanales, damit man zu den untern Brettern des Gerinnes gelangen kann. Die Spundwand *e*, ist bestimmt, das Eindringen des Wassers in den Raum unter dem Gerinne zu verhindern. Bei der Anordnung Fig. 1, 2, 3, 4 ist das Gerinne mit dem Einlauf durch vier Stützen *d* und vier Stangen *d*, vereinigt. Der Einlauf Fig. 5 ist unabhängig von dem Gerinne und wird deshalb von den Kämpfersteinen *b*, unterstützt.

Tafel XIV.

enthält die wichtigeren Details des Radbaues.

Fig. 1 ist eines von den neun Segmentstücken, aus welchen ein Getäferwerk besteht, *kk* sind Rippen, gegen welche die Bretter der Zellenwände geschraubt werden. *1 1 1*, Hülsen, in welche die Enden der radialen Arme *m* der Diagonalstange *m*, und der Umfangsstange *m*, gesteckt und mit Keilen *n n*, angezogen werden.

Fig. 4 und 5. Auf der äusseren Seite sind zur Befestigung der Zahnkranzsegmente die Brillen und ringförmigen Erhöhungen *o o*, *o*, angebracht. Die Säume der Ringe sind eben gehobelt, die Vertiefungen ausgebohrt und in der Mitte mit einem concentrischen Schraubenloch versehen. Aehnliche Ringe *p p*, *p*, mit gehobelten Rändern und ausgebohrten Vertiefungen sind auch an der dem Getäfer zugewendeten Fläche des Zahnkranzes angebracht. Fig. 5, 7, 8. Zur Befestigung der Zahnsegmente mit dem Getäfer werden in die Vertiefungen *o o*, *o*, abgedrehte, in der Mitte durchbohrte Metallscheiben eingelegt, die so dick sind, dass sie zur Hälfte über die Ebene der Ringe hervorragend. Die Zahnsegmente werden an das Getäfer so angelegt, dass die Einlegscheiben auch in die Vertiefungen der Ringe *p p*, *p*, eingreifen, und dass die Ebenen dieser Ringe mit jenen von *o o*, *o*, in Berührung kommen. Das Ganze wird zuletzt mit Schraubenbolzen, welche durch die Mitte der Einlegscheiben gehen, zusammengeschraubt. Diese Befestigungsart von Gusseisen mit Gusseisen gegen Verschiebung vermittelt solcher Einlegscheiben kann mit verhältnissmässig wenig Arbeit sehr genau ausgeführt werden. Die Befestigung der Zahnsegmente und der Getäfersegmente unter einander geschieht ebenfalls mit Einlegscheiben und Schrauben, wie aus Fig. 1, 2, 3, 5, 7 zu ersehen ist. Aus den Fig. 9 und 10 sieht man, dass jede Rosette aus zwei Systemen von Hülsen besteht, die auf einer cylindrischen, zum Aufkeilen dienenden Hülse *q* aufsitzen und durch Nerven unter einander verbunden sind.

Die Arme und Diagonalstangen sind mit ihren viereckigen Enden in die Hülsen gesteckt, und werden durch Keile *q*, *q*, angezogen. Jede Rosette wird mit einem Keil, der zur Hälfte in den Wellenkopf *r*, zur Hälfte in die Hülse *r*, zu liegen kommt, mit der Welle verbunden.

Fig. 6 und 7 zeigt die Kupplung zweier Stangen, aus welchen eine Umfangsstange besteht.

Tafel XIII.

Fig. 1 Vertikaldurchschnitt des Einlaufes und des Zellenkranzes.
Fig. 2 Vertikaldurchschnitt nach der Axe des Schützenzuges.

Der Schützen *t* besteht aus zwei starken, durch Feder und Nuth verbundenen Brettern, die an den Enden durch eiserne Kappen gefasst sind. Diese Kappen gleiten auf den schiefen, an den Seitenwänden des Einlaufes angebrachten Bahnen, und an jede derselben ist eine Zahnstange *t*, eingehängt, in welche die Zähne der Getriebe *t*, eingreifen. Die Axe *t*, dieser Getriebe liegt in zwei, an die Seitenwände des Einlaufes angeschraubten Lagern *t*, geht in das Innere des Fabrikgebäudes und wird von da aus durch einen in der Zeichnung nicht dargestellten Mechanismus, der etwa aus einem Wurm mit Rad bestehen kann, bewegt. Bei *d*, und *d*, sieht man, dass die Traversen vermittelt Einlegscheiben und Schrauben mit den Seitenwänden und dem Mittelschild verbunden sind. Bei *e*, sieht man, wie der Mittelschild des Einlaufes auf den Mittelschild

des Gerinnes geschraubt ist. Die Zellen werden durch an einander gereihte, gegen die Nerven kk des Seitengetäfers geschraubte Bretter $s, s, s,$ gebildet. Um das Zellenwerk zu einem Ganzen zu verbinden, dienen gusseiserne Rahmen $sss...$ Auf Tafel XII, Fig. 2 sieht man, dass in jede Zelle zwei solche Rahmen in einer Entfernung von dem Seitengetäfer gleich $\frac{1}{2}$ der Radbreite eingelegt sind. Die Wände jeder Zelle sind also zwischen zwei Paare von solchen Rahmen geschraubt, und dadurch sind gleichzeitig die Zellen unter einander verbunden. $s,$ sind die Kanäle, durch welche die in den Zellen vor ihrer Füllung enthaltene Luft während der Füllung entweicht.

G. Tafel XVII., XVIII., XIX.

Oberschlächtiges Rad für ein grosses Gefälle.

Beschreibung des Baues im Allgemeinen.

Dieses Rad ist grösstentheils aus Holz construiert, nur der Zahnkranz, die Rosetten, die Welle und einzelne Verbindungen sind von Eisen. Von jeder Rosette gehen 14 radiale und 14 schiefe Arme $a, b, a, b,$ aus; erstere sind vorzugsweise bestimmt, das äussere Zellenwerk zu tragen und in concentrischer Lage gegen die Radwelle zu erhalten, letztere bilden Verstreben, um Seitenschwankungen zu verhindern. Der Zahnkranz, dessen Halbmesser ungefähr halb so gross ist, als jener des Rades, ist an den von einer Rosette ausgehenden 14 radialen Armen befestiget.

Unter den verschiedenen Armen bestehen folgende Verbindungen. Tafel XIX. 1) Sind die dem Zahnkranz gegenüber befindlichen 14 Arme $a,$ unter einander durch die Hölzer c verbunden, welche ein regelmässiges Vierzehneck bilden, dessen Mittelpunkt in der Axe des Rades liegt. 2) Sind die Arme aa der einen Seite des Rades mit denen $a, a, ...$ der anderen Seite durch die Hölzer $c, c, ...$ und durch die Streben $c, c,$ verbunden. Die schiefen Arme $b, b,$ sind etwas gebogen und fassen zwischen sich die Hölzer $c, c.$

Durch dieses System der Verarmung ist der innerhalb des Zahnkranzes befindliche Theil des Baues ganz unabhängig von der Wirkung des Wassers auf das Rad, und hat nur allein das Gewicht des Baues zu tragen. Die Kraft, welche das Wasser dem Umfang des Rades mitgetheilt, wird auf folgende Weise nach dem Zahnkranz übertragen. Ein Viertel dieser Kraft wird direkt durch die äusseren Theile der Arme a hereingeschafft. Ein zweites Viertel geht durch die äusseren Theile der Arme $a,$ bis an die Vereinigungspunkte der Hölzer $cc, c,$ und von da durch die auf rückwirkende Festigkeit in Anspruch genommenen Streben $c,$ nach dem Zahnkranz. Die zwei letzten Viertel der Kraft gehen zunächst durch die schiefen Arme $b, b,$ bis an ihre Vereinigungspunkte und wirken in der Mitte auf die Verbindungen $c,$; von da an geht das eine Viertel direkt durch die Verbindungen $c,$ nach dem Zahnkranz, das andere Viertel aber geht nach dem

Arme $a,$ hinaus und dann erst durch die Streben $c,$ nach dem Zahnkranz herüber. Diese Erklärungen über den Bau des Rades sind vorläufig zum Verständniss der Berechnung seiner Dimensionen hinreichend.

Berechnung der wichtigsten Dimensionen des Rades.

Das Rad ist für die Annahmen:

Gefälle	$H = 12.6^m$
Wasserzufluss in 1 Sekunde	$Q = 0.19^{kbn}$
Umfangsgeschwindigkeit	$v = 1.5$
Füllung	$\frac{a \cdot b \cdot v}{Q} = 4$

berechnet und verzeichnet.

Die Werthe von H und Q weisen natürlich in das Gebiet des ober-schlächtigen Rades.

Nun findet man:

Absoluter Effekt der Wasserkraft	$N_a = 32$
Nutzeffekt des Rades (zu 75 Prozent)	$N_n = 24$
Verhältniss zwischen der Breite und Tiefe des Rades	$\frac{b}{a} = 2.25 \sqrt[3]{N_n} = 7.14$
Breite des Rades	$b = \sqrt[4]{\frac{Q}{v}} \cdot \frac{b}{a} = 1.9^m$
Tiefe des Rades	$a = \frac{b}{\frac{b}{a}} = 0.266^m$
Schaufeltheilung	$e = 0.2 + 0.7 a = 0.386^m$
Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser im Scheitel eintritt	$V = 2 v = 3^m$
Tiefe des Scheitels unter dem Spiegel des Oberwassers	$\frac{V^2}{2g} = 0.46^m$
Freihängen des Rades	$h = 0.14^m$
Halbmesser des Rades	$R = \frac{H - \frac{V^2}{2g} h}{2} = 6^m$
Anzahl der Zellen	$i = \frac{2 R \pi}{e} = 98$
Anzahl der radialen Arme eines Armsystems	$\mathfrak{R} = 2 (1 + R) = 14$
Anzahl der Umdrehungen des Rades in 1 Minute	$n = 9.548 \frac{v}{R} = 2.38$
Halbmesser des Theilrisses des Zahnkranzes (nach der Zeichnung)	$R_1 = 3.13^m$
Geschwindigkeit eines Punktes in diesem Theilrisse	$v \frac{R_1}{R} = 0.783^m$
Kraft in der Peripherie desselben	$\frac{24 \times 75}{0.783} = 2300 \text{ Kilg.}$

Dimensionen der Zähne . . .	Dicke $z = 0.086 \sqrt{2300}$	$= 4.12 \text{ cm}$
	Breite $z_1 = 6 z$	$= 24.75 \text{ cm}$
	Länge $z_2 = \frac{1}{4} z_1$	$= 6.19 \text{ cm}$
	Theilung $z_3 = 2.1 z$	$= 8.65 \text{ cm}$
	Anzahl	$= 224$

Die Querschnitte der Arme in der Entfernung des Zahnkranzes sind so bestimmt, wie sie für ein Rad sein müssten, welches einen Halbmesser gleich der Länge (2.88m) der äusseren Theile der Arme, eine Umfangsgeschwindigkeit 1.5m, und 28 Arme hätte, und das einen Nutzeffekt von 24 Pferdekraften entwickelte.

Die Anzahl der Umdrehungen dieses Rades wären in 1 Minute 4.54

Der Durchmesser einer Transmissionswelle für 24 Pferdekraft Nutzeffekt und 4.54 Umdrehungen ist 28cm

Nach der Seite 163 angegebenen Regel ist demnach die Höhe eines

Armes $28 \frac{1.7}{3} = 14.5 \text{ cm}$

Nach aussen und nach innen sind die Arme etwas verjüngt. •

Nach der später folgenden Gewichtsbestimmung sind die

Pressungen, welchen die Zapfen zu widerstehen haben $\left\{ \begin{array}{l} 12563 \text{ Kilg.} \\ 9917 \text{ „} \end{array} \right.$

Durchmesser der Zapfen $\left\{ \begin{array}{l} 0.18 \sqrt{12563} = 20 \text{ cm} \\ 0.18 \sqrt{9917} = 18 \text{ cm} \end{array} \right.$

Länge der Zapfen (der aufliegenden Theile) $\left\{ \begin{array}{l} = 24 \\ = 21 \end{array} \right.$

In der Zeichnung sind beide Zapfen gleich stark gemacht worden.

Entfernung der Mittelpunkte der Zapfen von den Mittelpunkten der Rosetten = 47cm

Durchmesser der Wellenköpfe $D = 20 \sqrt[3]{\frac{47}{\frac{1}{2} 24}} = 31.7 \text{ cm}$

Wenn wir für die Querschnittsdimensionen der Welle die Seite 170 gewählten Bezeichnungen beibehalten, so erhalten wir, nach den an dem gleichen Orte aufgestellten Regeln:

Verhältniss zwischen der Höhe und Tiefe der Nerve . $\frac{h}{e} = 4.5 + 1.5 \times 1.9 = 7.35$

Verhältniss zwischen dem Diameter des Kernes und der Dicke der Nerve $\frac{D_1}{e} = 6.75 - 0.75 \times 1.9 = 5.32$

Verhältniss zwischen dem Diameter des Wellenkopfes und der Dicke der Nerve:

$$\frac{D}{e} = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} \left[0.589 (5.32)^4 + (7.35)^3 - (5.32)^3 + 7.35 - 5.32 \right] \frac{1}{7.35}} = 5.5$$

Demnach wird:

Dicke der Nerve $e = 5.76 \text{ cm}$

Höhe der Nerve $h = 40.4$

Durchmesser des Kernes $D_1 = 29.3$

Mit diesen Hauptdimensionen ist das Rad gezeichnet worden.

Genauere Eeffektberechnung des Rades.

Zur Berechnung des Nutzeffektes hat man theils durch die vorhergehenden Rechnungen, theils nach der Zeichnung folgende Elemente:

$H = 12.6 \text{ m}$	$Q = 0.19 \text{ Kbm}$	$v = 1.5$	$V = 3 \text{ m}$
$R = 6 \text{ m}$	$a = 0.266 \text{ m}$	$b = 1.9 \text{ m}$	$\delta = 0.48 \text{ m}$
$e = 0.38 \text{ m}$	$s = -0.08 \text{ m}$	$S = 0$	$h = 0.14$
$\gamma = 180$	$\delta = 9^\circ + 30'$	$\beta = 19^\circ$	$\epsilon = 98$

Totalgewicht des Rades = 22535 Klg.

Durchmesser der Zapfen = 0.2m

Reibungscoeffizient = 0.08

Nun findet man den

Absoluten Effekt der Wasserkraft $E_a = 2394 \text{ Klg.}$

Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht:

$$1000 \frac{Q}{2g} \left\{ V^2 + v^2 - 2 V v \cos \delta + 2g \left[\frac{1}{2} e \sin \gamma + c \sin (\gamma - \beta) - s \right] \right\} = 0.028 E_a$$

Effektverlust wegen v und h beim Austritt

$$1000 Q \left(\frac{v^2}{2g} + h \right) = 0.020 E_a$$

Effektverlust, welcher durch das allmähliche Entweichen des Wassers entsteht:

$$2 R Q \left(250 - 35 \frac{a b v}{Q} \right) = 0.105 E_a$$

Effektverlust, welcher durch die Zapfenreibung entsteht:

$$22535 \times 0.08 \times 1.5 \times \frac{0.2}{12} = 0.019 E_a$$

Summe der Effektverluste 0.172 E_a

Nutzeffekt des Rades $\left\{ \begin{array}{l} E_n = 0.828 E_a \\ E_n = 1983 \text{ Klgm.} \\ N_n = 26.4 \text{ Pferdekraft.} \end{array} \right.$

Gewicht und Kostenberechnung des Rades.

Holz.

Volumen der Zellenwände	3.147 ^{Kbm}
Volumen des Radbodens	2.846 „
Volumen des Seitengetäfers	1.765 „
Volumen der 56 Arme	3.800 „
Volumen der Armverbindungen	0.936 „

Gesamtvolumen des Holzes 12.494^{Kbm}

1 Kubikmeter durchnässtes Holz zu 1000 Kilogramm gerechnet, beträgt
das Gewicht der Holzkonstruktion des Rades 12494 Klg.

Gusseisen.

Zwei Rosetten	3600 Klg.
Eine Welle	2280 „
Zahnkranz	2600 „
26 Kapseln zu den Armverbindungen	560 „

Gewicht an Gusseisen 9040 Klg.

Schmiedeeisen.

Schrauben und Verbindungen der Zellen	686 Klg.
16 Zahnkranzstangen	315 „

1001 Kilg.

Totales Gewicht des Rades = 22535 „

1 Kubikmeter verarbeitetes Holz zu 100 fl.
und

100 Kilogramm verarbeitetes Eisen zu 50 „
gerechnet, so kostet:

Die Holzkonstruktion des Rades 1249 „

Die Eisenkonstruktion des Rades 5000 „

Gesamtkosten des Rades 6249 fl.

Kosten per 1 Pferdekraft 235 „

Beschreibung der einzelnen Theile des Baues.

Tafel XIX.

Verbindung der Arme unter einander und des Zahnkranzes mit den Armen.

Fig. 1 ist eine Ansicht, Fig. 2 ein Grundriss dieser Verbindung. Denkt man sich

das Rad unmittelbar ausser dem Zahnkranz, durch eine Cylinderfläche geschnitten, deren Axe mit jener des Rades zusammenfällt, auf diese Fläche durch radiale Projektionslinien die Armverbindungen und den Zahnkranz projiziert, sodann die Cylinderfläche in eine Ebene entwickelt, so erhält man Fig. 2.

a a, sind die Durchschnitte der radialen Arme des Rades, *b b*, die Diagonalarme, welche um die Traversen *c, c*, herumgebogen sind. *c* sind die Traversen zwischen den radialen Armen *a, a*. *c*, die schiefen Streben zwischen den Armen *a, a*, der einen, und den Armen *a a* der andern Seite des Rades. *d* ist eine aus zwei Theilen bestehende Kapsel. Die beiden Theile derselben umfassen den Arm *a*, greifen mit ihren Enden in die Traversen *c*, ein und sind mit denselben noch durch Schrauben verbunden. Ein hölzerner Keil *d*, dient zur Verbindung der Kapsel mit dem Arme *a*. Die Traversen *c*, und *c*, werden durch zwei an die Kapsel angegossene Hülsen gefasst. Fig. 3 und 4 sind Ansichten von diesem Bestandtheile. Die Zahnsegmente sind, wie aus Fig. 1 und 2 zu ersehen ist, vermittelst Flantschen mit eingelegten Metallscheiben zusammengeschraubt. Je zwei unmittelbar auf einander folgende Segmente umfassen einen Arm *a* und werden mit demselben vermittelst der Kapsel *d*, Fig. 1, 2, 5, 6 verbunden. Zwei an die Kapsel angegossene Hülsen fassen die Traversen *c*, und die Strebe *c*.

Tafel XVIII.

Fig. 1 ist ein Durchschnitt des Zellenwerkes, Fig. 2, 3, 4 zeigen die Verbindung der Radfelgen unter einander und mit den Radarmen. Die Bretter der Zellenwände sind in die innere Felgenschichte eingesetzt und unter einander durch die Bänder *e* und Spulen *e*, verbunden. Die beiden Seiten des Rades sind ferner durch Stangen *e*, Fig. 3, 4, welche durch die Arme gehen, zusammengehalten. Bei *f*, Fig. 3 und 4, sieht man, wie die Felgen und der Radboden in einander greifen; bei *a*, Fig. 2, die Verbindung der äusseren Felgenschichte mit den Armen. *g g* sind gusseiserne Kapseln, vermittelst welchen die schiefen Arme *b b*, mit den radialen *a a*, verbunden werden. Fig. 5 ist eine äussere, Fig. 6 eine innere Ansicht, Fig. 7 ein Durchschnitt eines Zahnkranzsegmentes. Fig. 8 einer von den Armen des Zahnkranzes. Diese Arme sind durchaus nothwendig, um den Zahnkranz in concentrischer Lage zu erhalten, indem derselbe an den hölzernen Radarmen nur durch Reibung gehalten wird. Die Arme *h* sind in die innere Fläche der Zahnsegmente so eingelegt, dass sie diese nur einwärts ziehen, nicht aber auswärts schieben können.

Fig. 9 ist eine äussere Ansicht, Fig. 10 ein Durchschnitt von der Rosette auf der Seite des Zahnkranzes. Sie ist mit dreierlei Hülsen versehen. Die Hülsen *i* gehören zu den radialen, die Hülsen *i*, zu den schiefen, die Hülsen *i*, zu den Zahnkranz-Armen. Die letzteren *i*, befinden sich zwischen den ersteren *i*. Die Hülsen *i*, *i*, sind mit Deckel *k* Fig. 13 versehen, welche sich aussen an die Seitenwände anstemmen, so dass sie nach radialer Richtung nicht hinausgeschoben werden können. An den inneren Flächen der Deckel bei *k*, und an den äusseren Enden der Hülsen *i* und *i*, sind Ansätze *k*, *k*, Fig. 12, angebracht, welche in das Holz der Arme eingreifen. Zwei Schrauben, welche durch die Arme und durch die zweien Hülsen gemeinschaftliche Mittelwand gehen, drücken

die Deckel gegen die Hülsen und gegen die Arme, können aber nie bedeutend in Anspruch genommen werden, weil die Ansätze k_1, k_2 vorhanden sind, welche verhindern, dass die Arme nicht aus den Hülsen gezogen werden können. Die Zahnkranzstangen h sind mit den Hülsen durch Keile verbunden und werden durch diese angespannt. Die Hülse der Rosette ist mit einem Längskeil auf den Kopf der Welle aufgekeilt, auch ist noch ein aus zwei halbkreisförmigen Hälften bestehender Keilring i in die Welle eingelegt, durch welchen die Rosette gegen eine Verschiebung nach auswärts geschützt wird. Die Rosette, Fig. 11 und 12, auf der andern Seite des Rades ist ähnlich construirt, wie die so eben beschriebene, nur sind an derselben die Hülsen i_2 nicht vorhanden. Fig. 11 ist die innere Ansicht, Fig. 12 ein Durchschnitt dieser Rosette. In Fig. 12 sieht man, wie die Arme durch die Ansätze k_1, k_2 gefasst werden.

Tafel XVII.

enthält eine Ansicht Fig. 1 und einen Vertikaldurchschnitt Fig. 2 des Rades. Das Rad hängt zwischen zwei Seitenmauern, auf welchen die Lager für die Wasserrad- und für die Kolbenwelle aufliegen. Unter den Lagerplatten sind grössere Quaderblöcke eingemauert. Das Zuleitungsgerinne tritt bei m Fig. 1 in die Radstube ein, und wird durch zwei neben dem Rade aufgestellte oben durch einen Querbalken verbundene Säulen n, n getragen. Der Schützen, welcher aus einem schiefgestellten Brette o besteht, welches an zwei Gelenkstangen p angehängt ist, deren Drehungzapfen an den Wänden des Zuleitungsgerinnes angebracht sind, wird durch einen Mechanismus, bestehend aus Schrauben und Winkelrädern, von der Kurbel q aus auf und nieder bewegt. Dieser Mechanismus hat folgende Einrichtung. An dem Schützen o sind zwei Stangen r, r angehängt, an deren oberen Enden Schraubengewinde angeschnitten sind. Die konischen Rädchen s, s liegen mit ihren Hülsen auf Metallplättchen, die in den Querbalken eingelassen sind, und in diese Hülsen sind die Muttern für die Spindeln r, r eingeschnitten. Wenn nun an der Kurbel q gedreht wird, wird die Bewegung durch die Winkelräder u, v, v den Rädchen s, s mitgetheilt, und dadurch werden die Schraubenspindeln r, r mit dem daran hängenden Schützen auf oder nieder geschraubt.

H. Tafel XX., XXI. XXII.

Unterschlächtiges Schaufelrad mit Hebwerk.

Dieses Rad ist für eine Wassermenge von 5 km^3 in 1 Sekunde und für ein Gefälle von 1 m construirt. Bei so bedeutenden Wassermassen kommen jederzeit beträchtliche Veränderungen im Wasserstande vor, es ist deshalb angenommen worden, der höchste Wasserstand sei um 0.8 m höher als der tiefste. Unter diesen Umständen kann nur dann von einer Ausführung eines Baues die Rede sein, wenn es gestattet wird, den oberen Wasserspiegel mittelst eines Schleussenbaues in dem gleichen Maasse zu stauen, in

welchem der untere Wasserspiegel im Flusse steigt, so dass das nutzbare Gefälle unveränderlich auf 1 m erhalten werden kann; denn wenn der obere Wasserspiegel gar nicht oder nur wenig gestaut werden dürfte, würde bei Hochwasser nur eine sehr geringe Betriebskraft vorhanden sein, die mit den Kosten eines derartigen Baues in einem argen Missverhältnisse stünde. Es ist daher angenommen worden, dass mittelst eines Schleussenbaues der obere Wasserspiegel genau nach dem Wasserstand im Abflusskanal regulirt werden kann, so dass also das benutzbare Gefälle unveränderlich 1 m beträgt.

Bei 1 m Gefälle, 5 km^3 Wasserzufluss in 1 Sekunde und 0.8 m Veränderung im Wasserstande unterliegt es keinem Zweifel, dass man heut zu Tage kein Wasserrad, sondern lieber zwei Turbinen bauen würde; denn einerseits ist es unter diesen Umständen ganz unmöglich, durch einen Radbau ungefähr eben so viel reine Betriebskraft zu erhalten, als durch einen Turbinenbau, und andererseits muss der erstere Bau kostspieliger ausfallen als der letztere, weil das Rad, um bei jedem Wasserstand einen gleich guten Effekt geben zu können, nothwendig mit einem Hebwerk versehen werden muss, was mit beträchtlichen Unkosten verbunden ist.

Ich bin daher weit entfernt, einen Radbau nach den vorliegenden Zeichnungen unter den gegebenen Umständen zur Ausführung empfehlen zu wollen, glaube aber, dass diese Zeichnungen, wenn auch nicht für den Zweck der Praxis, doch für jenen der Schule von Werth sein dürften. Denn 1) handelt es sich in dem vorliegenden Werk möglichst vollständig zu zeigen, was durch die Wasserräder unter allen Umständen geleistet werden kann. 2) Ist für den Anfänger im Maschinenbau die Konstruktion eines derartigen Rades mit Hebezeug sehr belehrend, und gibt zu den mannigfaltigsten konstruktiven Uebungen die Veranlassung. 3) Kann eine gründliche Vergleichung zwischen den Wasserrädern und den Turbinen erst dann zu Stande kommen, wenn die Leistungen von beiden unter allen Umständen genau bekannt sind. Diese Gründe haben mich bewogen, den Bau dieses Rades mit Hebwerk durch ein Beispiel zu erläutern.

Bevor ich zur Beschreibung übergehe, will ich auch noch die Frage berühren, ob nicht in dem vorliegenden Falle ein Poncelet'sches Rad mit krummen Schaufeln mit Vortheil angewendet werden könnte?

Es unterliegt keinem Zweifel, dass mit krummen Schaufeln, wenn sie zweckmässig gekrümmt und in hinreichender Anzahl genommen würden, ein grösserer Nutzeffekt erhalten würde, als mit ebenflächigen Schaufeln; es ist aber auch gewiss, dass der Bau mit krummflächigen mehr als jener mit ebenflächigen Schaufeln kosten würde, denn das Hebwerk ist in dem einen und in dem anderen Falle nothwendig und die Hauptdimensionen des Rades, nämlich Breite und Halbmesser, fallen für beide Anwendungen ungefähr gleich gross aus, die Differenz der Kosten wird also durch die Form und Anzahl der Schaufeln bestimmt. Welche von den beiden Anordnungen den Vorzug verdiente, wenn es sich um eine Ausführung handelt, hängt nun davon ab, ob die Leistungen des Rades oder die Kosten des Baues mehr zu berücksichtigen sind. Ich habe mich für das letztere entschieden. Uebrigens sind die Schaufeln unter einem Winkel gegen den Radius gestellt und etwas gebrochen, wodurch sich die Konstruktion einer mit krummflächigen Schaufeln nähert.

Beschreibung des Baues im Allgemeinen.

Das Rad ist bis auf die Schaufeln von Eisen. Das Hebwerk oder vielmehr die Hebwerke, denn es sind deren zwei dargestellt, sind ganz von Eisen. Die Zu- und Abflusskanäle und das Radgerinne sind, bis auf kleinere Verbindungstheile, von Holz. Die Welle des Rades hat einen cylindrischen Kern und vier unter rechten Winkeln sich durchkreuzende, nach der Richtung der Axe bogenförmig gekrümmte Nerven. Auf die Welle sind drei Kegelkranzwerke aufgekeilt, von denen jedes aus einer Rosette, 8 Armen und aus 8 Kegelsegmenten besteht. Jede von den 24 Schaufeln ist an die drei Kegelkränze mit Schrauben befestigt. An eines der beiden äusseren Armwerke ist ein aus 8 Segmenten bestehender Zahnkranz angeschraubt, welcher die dem Rade mitgetheilte Kraft an die Kolbenwelle abgibt. Das Radgerinne besteht aus zwei bedielten, unter einander und mit dem Zuleitungskanal zusammengegliederten Rahmwerken, das erstere derselben, welches zunächst die Fortsetzung des Zuflusskanals bildet, hat eine ebene Oberfläche, das letztere ist nach dem Umfange des Rades sattelförmig gekrümmt und mit 4 Stangen an das Hebwerk gehängt, so dass es seine Entfernung von der Axe des Rades nicht ändert, wenn dieses durch das Hebwerk gehoben oder niedergesenkt wird. Es folgt also das Gerinne dem Rade und wird mit diesem gleichzeitig und übereinstimmend bewegt. Zum Heben und Senken des Rades sind auf Tafel XXII. zweierlei Vorrichtungen angegeben. Die eine, welche auch in der Zusammenstellung auf Tafel XX. dargestellt ist, ist ein Hängwerk, die andere dagegen ist ein Stützwerk. Beide Anordnungen stimmen darin überein, dass sie aus Hebeln bestehen, die sich um die Kolbenwelle drehen und auf welchen die Radwelle mit ihren Zapfen aufliegt, unterscheiden sich aber in dem Mechanismus, durch welchen diese Hebel auf und nieder bewegt werden. Bei dem Hängwerk hängt nämlich jeder Hebel vermittelt einer Schraubenstange an einem gusseisernen Gestelle; bei dem Stützwerk dagegen wird jeder Hebel durch eine Schraubenspindel unterstützt. Unmittelbar vor dem Rade ist ein Regulirschützen angebracht, vermittelt welchem der Wasserzufluss verändert werden kann. Er besteht aus einem mit Brettern belegten Rahmen, der vermittelt 8 schmiedeisernen Stangen an die Säulen der Einlassschleusse zurückgehängt ist und durch zwei Zahnstangen auf und niederbewegt werden kann. Die Getriebe, welche in die Zahnstangen eingreifen, befinden sich an einer nach dem Fabrikgebäude fortlaufenden Axe, von wo aus sie vermittelt einer in der Zeichnung nicht dargestellten Winde, die am einfachsten aus Wurm, Wurmrad und Kurbel bestehen kann, in Bewegung gebracht wird. In einiger Entfernung von dem Regulirschützen ist eine Einlassschleusse angebracht, die, wenn das Rad arbeitet, ganz aufgezo-gen wird, so dass das Wasser ungehindert bis zur Regulirfalle hinfließen kann, dagegen aber ganz niedergelassen wird, wenn das Rad abgestellt, d. h. ausser Gang kommen soll. Die ganze rechtwinkliche Oeffnung, durch welche das Wasser eintritt, ist durch 2 Zwischensäulen in drei gleich grosse Oeffnungen getheilt, und jede dieser Oeffnungen ist mit einem besonderen Schützen nebst dazu gehörigem Aufzuge versehen. Jeder von diesen Schützen läuft mit 6 Rollen an der aufrechten Säule des Schleussen-

baues, ist mit einer Zahnstange versehen, und wird vermittelt eines aus Rädern, Sperrrad, Sperrhaken und Kurbel bestehenden Aufzuges auf und nieder bewegt.

Diese allgemeine Beschreibung des Baues ist vorläufig genügend, die detaillirte Beschreibung wird später folgen.

Berechnung der Hauptdimensionen des Baues.

Die Hauptdaten sind:

Gefälle $H = 1^m$
Wasserzufluss in einer Sekunde $Q = 5^k b m$

Angenommen wurde:

Halbmesser des Rades $R = 3^m$
Umfangsgeschwindigkeit des Rades $v = 0.4 \sqrt{2 g H} = 1.77^m$
Verhältniss zwischen dem Nutzeffekt des Rades und dem absoluten Effekt der

Wasserkraft $\frac{N_a}{N_s} = 0.35$
Füllung des Rades $\frac{Q}{a b v} = \frac{2}{3}$

Durch Rechnung findet man nun:

Absoluter Effekt der Wasserkraft in Pferdekraften à 75 Klgr. $N_s = \frac{1000 Q H}{75} = 66.67$

Nutzeffekt des Rades $N_a = 23.33$

Verhältniss zwischen der Breite des Rades und der radialen Dimension

einer Schaufel $\frac{b}{a} = 1.75 \sqrt[3]{\frac{Q}{N_a}} = 7.1$

Breite des Rades $b = \sqrt[3]{\frac{3 Q}{2 v} \frac{b}{a}} = 5.48^m$

Radiale Dimension der Schaufeln $a = \frac{b}{7.1} = 0.77$

Anzahl der Arme eines Systems $\mathfrak{N} = 2 (1 + R) = 8$

Schaufeltheilung $e = 0.2 + 0.7 a = 0.739$

Anzahl der Radschaufeln $i = \frac{2 R \pi}{e} = 24$

Anzahl der Umdrehungen des Rades in 1 Minute $n = 9.548 \frac{v}{R} = 5.63$

Halbmesser des Zahnkranzes (angenommen) $R_1 = 2^m$

Halbmesser des Getriebes $r_1 = \frac{1}{4} R_1 = 0.5$

Anzahl der Umdrehungen des Getriebes $n_1 = 4 n = 22.52$

Geschwindigkeit am Umfang des Zahnkranzes $= \frac{2}{3} v = 1.18^m$

Druck am Umfange des Zahnkranzes $= \frac{75 N_a}{1.18} = 1483$

Dimensionen der Zähne $\left\{ \begin{array}{l} z = 0.086 \sqrt{1483} = 3.31 \\ z_1 = 6 z = 19.86 \\ z_2 = \frac{1}{4} z_1 = 4.96 \\ z_3 = 2.1 z = 6.95 \\ \text{Anzahl} = \frac{2 R_1 \pi}{z_3} = 184 \end{array} \right.$

Die mittleren cylindrischen Theile der Radwelle sind wie Transmissionswellen bestimmt worden, die $\frac{1}{2} N_a$ und $\frac{1}{2} N_b$ Pferdekraft mit $n = 5.63$ Umdrehungen zu übertragen haben. Es sind demnach

$$\left. \begin{array}{l} \text{die Durchmesser der cylindrischen Theile der Radwelle} \\ 16 \sqrt[3]{\frac{23.33}{3 \times 5.63}} = 18 \text{ cm} \\ 16 \sqrt[3]{\frac{2 \times 23.33}{3 \times 5.63}} = 23 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

Die Nerven, mit welchen die Radwelle versehen ist, geben diejenige Verstärkung, die hier nothwendig ist, damit die Welle das Gewicht des Rades zu tragen vermag. Die Berechnung dieser Nerven folgt weiter unten.

Das Armsystem, an welches der Zahnkranz angeschraubt ist, hat die Kraft $\frac{1}{2} N_a$ von der Rosette bis zum Zahnkranz heraus und die Kraft $\frac{1}{2} N_b$ von dem Kegelkranz bis zum Zahnkranz hinein zu übertragen. Die beiden anderen Armsysteme haben jedes eine Kraft $\frac{1}{4} N_a$ von den Kegelkränzen bis zur Welle hinein zu übertragen. Die Querschnittsdimensionen der Arme sind demnach nach Seite 163:

$$\begin{array}{l} \text{a) für die leichten Arme:} \\ \left. \begin{array}{l} \text{an der Axe } \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = 0.86 \times 18 = 15.48 \text{ cm} \\ \text{Dicke} = \frac{1}{4} \times 15.48 = 3.10 \text{ „} \end{array} \right. \\ \text{am Kegelkranz } \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = \frac{3}{4} \times 15.48 = 11.61 \text{ „} \\ \text{Dicke} = \frac{3}{4} \times 3.10 = 2.32 \text{ „} \end{array} \right. \end{array} \right\} \\ \text{b) für die starken Arme.} \\ \left. \begin{array}{l} \text{an der Axe } \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = 0.86 \times 23 = 17.78 \text{ cm} \\ \text{Dicke} = \frac{1}{4} \times 17.78 = 3.56 \text{ „} \end{array} \right. \\ \text{am Zahnkranz } \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = \frac{3}{4} \times 17.78 = 13.33 \text{ „} \\ \text{Dicke} = \frac{3}{4} \times 3.56 = 2.67 \text{ „} \end{array} \right. \\ \text{am Kegelkranz } \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = \text{wie bei a} \\ \text{Dicke} = \text{wie bei a} \end{array} \right. \end{array} \right\} \end{array}$$

Zur Bestimmung der Dimensionen der Nerven der Welle dienen die Figuren 63 und 70, von denen die eine die auf die Welle wirkenden Kräfte nebst ihren Angriffspunkten und die andere die Bezeichnungen für die Dimensionen des mittleren Querschnitts enthält. Die Pressungen sind aus der später folgenden Gewichts Berechnung entnommen. Die Pressungen 1100 bedeuten die Gewichte der zwei Wellenhälften in ihren Schwerpunkten wirkend.

Denkt man sich die rechte Hälfte der Welle eingemauert, so ist das in Kilg. und Centim. ausgedrückte Moment, welches den mittleren Querschnitt der Welle zu brechen sucht:

$$6400 \times 300 - 4411 \times 250 - 1100 \times 150 = 692250$$

man hat daher:

$$\frac{\mathfrak{R}}{6h} \left[0.589 D_1^3 + (h^3 - D_1^3) e + (h - D_1) e^3 \right] = 692250$$

wobei $\mathfrak{R}$ den Coefficienten für respective Festigkeit bezeichnet. In dieser Gleichung kann nun D_1 , h und $\mathfrak{R}$ angenommen werden und dann findet man aus ihr die Dicke der Nerve. Für D_1 muss offenbar der kleinere Durchmesser von den cylindrischen Theilen der Welle genommen werden. h kann man so wählen, dass die Welle ein geschmeidiges Ansehen erhält. Für $\mathfrak{R}$ darf man den zehnten Theil des Werthes in Rechnung bringen, welcher dem Bruch entspricht.

Setzen wir also:

$$D_1 = 18 \text{ cm}, h = 50 \text{ cm}, \mathfrak{R} = \frac{3000}{10} = 300$$

so findet man, dass obiger Gleichung Genüge geleistet wird durch

$$e = 5.29 \text{ cm}$$

Hiermit sind nun die mittleren Querschnittsdimensionen der Welle bestimmt. Die Dimensionen der ausserhalb des Rades befindlichen Theile der Welle sind nun:

Durchmesser der Zapfen:

$$\begin{array}{l} \text{auf der Zahnkranzseite} = 0.18 \sqrt[3]{6400} = 14.4 \text{ cm} \\ \text{auf der anderen Seite} = 0.18 \sqrt[3]{4650} = 12.2 \text{ „} \end{array}$$

Länge der Zapfen:

$$\begin{array}{l} \text{auf der Zahnkranzseite} = 19 \text{ cm} \\ \text{auf der anderen Seite} = 19 \text{ cm} \end{array}$$

Entfernung der Mittel der Zapfen von jenen der Rosetten:

$$\begin{array}{l} \text{auf der Zahnkranzseite} = 40 \text{ cm} \\ \text{auf der anderen Seite} = 40 \text{ „} \end{array}$$

Durchmesser der Wellköpfe:

$$\begin{array}{l} \text{auf der Zahnkranzseite} = 14.4 \sqrt[3]{\frac{40}{\frac{1}{2} \cdot 19}} = 23.24 \text{ cm} \\ \text{auf der anderen Seite} = 12.2 \sqrt[3]{\frac{40}{\frac{1}{2} \cdot 19}} = 20.00 \text{ „} \end{array}$$

In der Zeichnung sind die Wellköpfe etwas grösser, als hier die Rechnung gegeben hat, weil wegen der Keile, die zum Aufkeilen der Rosetten dienen, eine Verstärkung nothwendig wird. Diese nun berechneten Querschnittsdimensionen der Welle gewähren hinreichend sichere Anhaltspunkte zur vollständigen Verzeichnung derselben, und es sind nun überhaupt alle Hauptdimensionen des Rades bestimmt.

Die Berechnung der Querschnittsdimensionen der beiden Hebwerke und der Schützenzüge will ich übergehen, weil die Regeln zur Berechnung der Querschnittsdimensionen der Maschinenorgane überhaupt nicht hierher gehören.

$$\text{Der Durchmesser der Kolbenwelle ist } 16 \sqrt[3]{\frac{23.33}{22.52}} = 17 \text{ cm}$$

Effektberechnung des Rades.

Die Wirkung des Wassers auf die Schaufeln erfolgt bei diesem Rade ungefähr, wie bei dem Poncelet-Rade. Es schlägt zunächst theilweise an die Schaufeln, gleitet dann mit der nach dem Schlage noch übrig bleibenden relativen Geschwindigkeit an den Schaufeln hinauf, und wirkt dabei fortwährend durch Druck. In der Höhe der Schaufeln angekommen, beginnt es wiederum an denselben herabzugleiten, kann aber, während diess geschieht, kaum mehr eine merkliche Wirkung hervorbringen, denn die Schaufeln haben in ihrer Austrittsposition fast eine vertikale Stellung. Die Hauptverluste an Effekt, welche bei diesem Rade vorkommen, sind also: 1) der Verlust, welcher bei dem partiellen Stoss beim Eintritt des Wassers stattfindet; 2) die Wirkungsfähigkeit, welche im Wasser enthalten ist, wenn es in seiner Aufwärtsbewegung den höchsten Punkt erreicht hat. Andere beachtenswerthe Verluste kommen nicht vor, denn die Schaufeln gehen fast nach vertikaler Richtung aus dem Unterwasser und ein merklicher Wasserverlust zwischen und unter den Schaufeln kann bei der vorhandenen Bauart des Radgerinnes nicht eintreten. Zwischen den Schaufeln kann kein Wasser entweichen, weil der sattelförmige Theil des Gerinnes dem Umfang des Rades auf zwei Schaufeltheilungen folgt. Unter dem Rade kann kein Wasserverlust stattfinden, weil der ebenflächige bewegliche Theil des Zuleitungsgerinnes das Wasser über den Spielraum weg in die Schaufelräume leitet.

Wenn wir uns auch hier wiederum der Bezeichnungen bedienen, welche bei dem Poncelet-Rade (Seite 112) gewählt worden sind, so erhalten wir:

Den Effektverlust, welcher beim Eintritt des Wassers entsteht:

$$1000 \frac{Q}{2g} [V \sin (\beta - \delta) - v \sin \beta]^2$$

Die relative Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser nach dem Stosse an den Schaufeln hinaufzugleiten beginnt, ist:

$$V \cos (\beta - \delta) - v \cos \beta$$

Die Höhe, bis zu welcher es emporsteigt, ist:

$$\frac{1}{2g} [V \cos (\beta - \delta) - v \cos \beta]^2$$

Die Wirkungsfähigkeit, welche im Wasser in dem Momente enthalten ist, wenn es im höchsten Punkte angekommen ist:

$$1000 Q \left\{ \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2g} [V \cos (\beta - \delta) - v \cos \beta]^2 \right\}$$

Der Nutzeffekt des Rades ist demnach:

$$E_n = 1000 Q H - 1000 \frac{Q}{2g} [V \sin (\beta - \delta) - v \sin \beta]^2$$

$$- 1000 Q \frac{Q}{2g} \left\{ v^2 + [V \cos (\beta - \delta) - v \cos \beta]^2 \right\}$$

Es ist aber, wenn das Rad durch das Hebwerk zweckmässig nach dem Wasserstand gestellt wird:

$$v = \sqrt{2gH}$$

und unter dieser Voraussetzung wird der Ausdruck für den Effekt:

$$E_n = 1000 \frac{Q}{g} v (V \cos \delta - v)$$

Diese Formel stimmt aber mit derjenigen überein, welche unter der Voraussetzung gefunden wird, dass das Wasser senkrecht gegen die Schaufeln eines Rades stösst und nach dem Stosse mit der Geschwindigkeit v von dem Rade fortfließt, der Vortheil, den also diese schiefe Stellung der Schaufeln gewähren kann, reducirt sich auf die hier nicht in Rechnung gebrachte Wirkung, die das Wasser während seiner niedergehenden Bewegung noch hervorzubringen im Stande sein mag.

Setzen wir in dem letzten Ausdruck für den Effekt:

$$v = 0.4 V, \delta = 14^\circ$$

so findet man:

$$E_n = 0.456 \times 1000 Q \frac{V^2}{2g} = 0.456 E_a$$

Dieses Resultat dürfte der Wahrheit sehr nahe kommen, denn ein merklicher Wasserverlust kann, wie schon gezeigt worden ist, nicht eintreten, und wenn auch etwas Wasser verloren geht, so wird der daraus entstehende Effektverlust wiederum durch die Wirkung ersetzt, welche das Wasser in seiner niedergehenden Bewegung hervorbringt. Wir dürfen uns also versprechen, dass das Rad 45 Prozent Nutzeffekt hervorbringen könnte, ein Resultat, das für ein unterschlächtiges Rad günstig genannt werden kann. Wenn die Schaufeln noch mehr schief gestellt würden, als sie es in der Zeichnung sind, könnte allerdings das Wasser in seiner niedergehenden Bewegung besser wirken; allein durch eine zu schiefe Stellung der Schaufeln wird ihre senkrechte Entfernung am inneren Umfange des Rades so eng, dass das Wasser in seiner Aufwärtsbewegung gegen die Rückseite der Schaufeln schlagen müsste, wodurch jener Vortheil wieder aufgehoben würde.

Dieser inneren Verengung der Schaufelkanäle kann man nur durch krumme Schaufeln entgehen und darin, und sonst in nichts anderem, liegt der Vortheil der letzteren, denn für die Wirkung des Wassers ist es ganz gleichgültig, wie die Schaufeln geformt werden.

Gewichts- und Kostenberechnung des Baues.

a. Das Rad.

	Gewicht in Kilogramm.
24 Schaufeln von Holz	530
3 Kegelkränze	2295
16 leichte Radarme	1840
8 schwere Radarme	1380
3 Rosetten	858
1 Welle	2200
1 Zahnkranz	1750
Schrauben und Beschläge	147
Totales Gewicht des Rades	11000

In der Voraussetzung, dass das Rad 45 Prozent Nutzeffekt gibt, ist $N_a = 30$. Das Gewicht pr 1 Pferdekraft Nutzeffekt ist dann:

$$\frac{11000}{30} \dots\dots\dots = 366 \text{ Kilg.}$$

Wenn dagegen 35 Prozent Nutzeffekt gerechnet werden, wie bei der Berechnung der Arme und Wellen geschehen ist, wird $N_a = 23.33$ und das Gewicht für 1 Pferdekraft Nutzeffekt wird sodann:

$$\frac{11000}{23.33} \dots\dots\dots = 471 \text{ Kilg.}$$

Das Rad selbst ist also nicht schwer.

b. Gewicht des Hängwerkes.

	Gewicht in Kilogramm.
2 grosse Böcke, an welche das Rad angehängt ist, nebst den zwei grossen Lagerplatten	1636
1 Lagerbock für die Kolbenwelle und für den Hebel auf der Seite des Zahnkranzes	185
1 Stuhl für den Hebel auf der dem Zahnkranz gegenüber befindlichen Seite	190
Die zwei gegossenen Arme, welche die Radaxe in unveränderlicher Entfernung von der Axe der Kolbenwelle erhalten, nebst den gegossenen Ringen, in welche die Schalen der Radzapfen eingelegt sind	478
Die zwei grossen Schrauben, an welchen das Rad hängt	94
Die zwei mit Zapfen und Axenhaltern versehenen Muttern	16
Die zwei Wurme	29
Die zwei Wurmräder	63
Die zwei Kurbeln	7
Summe	2698

c. Gewicht des Stützwerks.

	Gewicht in Kilogramm.
Die zwei Stühle, welche die Pfannen für die Stützschrauben tragen	171
Die zwei mit Zapfen und Axenhaltern versehenen Pfannenträger	15
Zwei Wurmräder	63
Zwei Wurme	29
Zwei Kurbeln zu den Wurmaxen	7
Zwei Stützschrauben	94
Zwei Hebel, auf welchen das Rad liegt, nebst den mit Zapfen versehenen Schraubenmutter	1209
Ein Stuhl zur Kolbenwelle und für den Hebel auf der Zahnkranzseite	273
Ein Stuhl auf der andern Seite des Rades	180
Summe	2041

d. Gewicht der eisernen Theile, welche an dem Bau des Gerinnes, an dem Regulir-Schützen und an dem Einlass-Schützen vorkommen.

	Gewicht in Kilogramm.
Vier Stangen, mittelst welchen das Gerinne an das Hebwerk gehängt ist	61
Vier gegossene Anfasser, in welche jene Stangen unten eingehängt sind	40
Acht Charnier-Verbindungen zum gegliederten Gerinne	33
Sechs runde Parallelogrammstangen	121
Zwei flache Parallelogrammstangen	130
Acht Bolzen zur Befestigung dieser acht Stangen mit den Regulirschützen	14
Acht Bolzen zur Befestigung der gleichen Stangen mit den Säulen der Einlass-Schleusse	21
2 Zahnstangen	52
2 Endlager	48
Zum Aufzug des Regulirschützen { 1 Mittellager	11
{ 2 Getriebe	33
{ 1 Axe	93
18 Rollen mit Lagern	312
Zu den Aufzügen der Einlass-Schleusse { 3 Zahnstangen	171
{ 3 Aufzugwinden mit Rädern, Getrieben, Sperrwerk und Kurbeln	585
Summe	1725

Die ganze in der Zeichnung dargestellte Holzkonstruktion, mit Einschluss der Rad-schaukeln, hat:

Kubikinhalt	15 ^{km}
Oberfläche	447 ^{qm}
31.	

Die Gesamtkosten des Baues sind nun:

Eisenconstruction am	
Rad (ohne Schaufeln)	= 10470 Kilg.
Hebwerk	= 2696 „
Schützen und Gerinne	= 1725 „
14893 Kilg. 100 Kilg. à fl. 40, fl. 5960	
Holzconstruction:	
Volumen	15 ^{kdm} , 1 ^{kdm} à fl. 20 fl. 300
Zu bearbeitende Oberfläche	477 ^{qm} , 1 ^{qm} à fl. 15 „ 716
Summe . . fl. 6976	

Kosten per 1 Pferdekraft:

wenn 35 Prozent Nutzeffekt gerechnet werden	fl. 300
wenn 45 Prozent Nutzeffekt gerechnet werden	„ 233

Diese Baukosten sind nun zwar, wie vorauszusehen war, höher als bei den übrigen Rädern, sie stehen aber doch in keinem grossen Missverhältniss mit den Leistungen, welche man sich von dem Rade versprechen darf.

Beschreibung der Details des Baues.

Tafel XXI.

enthält die Details zu dem Rade, zum Regulirschützen und zur Einlassschleuse. Fig. 1 ist eine Ansicht, Fig. 2 und 3 sind Durchschnitte von einem Schaufelkranz-Segmente. Der Kranz geht mitten durch die Schaufelarme und theilt diese in zwei Theile, die unter einem stumpfen Winkel zusammen treffen. An den Winkelpunkten stossen je zwei eine Schaufel bildende Bretter an einander und werden mit Schrauben theils gegen die Armnerve a_1 , theils gegen die Lappen a_2 befestigt. Die Kegelkranzsegmente stossen stumpf aneinander und ihre wechselseitige Verbindung, so wie auch jene mit den Radarmen, geschieht durch runde Metallscheiben und Schraubenbolzen, von denen die ersteren zur Hälfte in die Enden der Kegelkränze und zur Hälfte in die Enden der Arme eingelegt sind. Diese Metallscheiben sind abgedreht und die Vertiefungen, in welche sie zu liegen kommen, ausgebohrt. Die Säume, welche die Vertiefungen umgeben, sind gehobelt.

Fig. 4 und 5 sind zwei Ansichten. Fig. 6 ist ein Querschnitt eines Zahnkranzsegmentes. Die Zähne des Zahnkranzes, so wie jene des Getriebes sind nach Evolventen gekrümmt. Die Vortheile, welche die Evolventenverzahnung überhaupt und insbesondere bei den Wasserrädern gewährt, sind sehr mannigfaltig. Die Nachweisung dieser Vortheile gehört aber nicht hierher. Die Zahnkranzsegmente stossen mit Endflantschen, die gehobelte Säume haben, aneinander und sind mit Schrauben zusammen geschraubt. Die Verbindung des Zahnkranzes mit den Armen geschieht ähnlich, wie jene der Kegelkränze mit den Armen, vermittelst eingelegter Metallscheiben und Schrauben.

Fig. 7 ist der mittlere Querschnitt der Radwelle, durch den schwächeren cylindrischen Kern.

Fig. 8 bis 13 stellen einen auf der Zahnkranzseite befindlichen Radarm dar. Fig. 14 und 15 dagegen einen Arm des mittleren Armsystems. Die Grundform jedes Armes hat einen T-förmigen Querschnitt. Die mittlere Nerve ist an dem inneren Ende des Armes hufeisenförmig in zwei Nerven $c_1 c_2$ getheilt, die äussere Seite des Armes ist mit Saumnerven $c_3 c_4$ versehen. Jeder Arm von der Zahnkranzseite ist mit drei brillenförmigen Theilen versehen, von denen jeder durch gehobelte, über die Ebene des Armes hervorragende Säume c_5 gebildet wird, welche die ausgedrehten und in der Mitte durchbohrten Vertiefungen c_6 umgeben. Die äussere, quer über die Arme gestellte Brille, welche Fig. 10 im Durchschnitte zeigt, dient zur Befestigung der Kegelkränze untereinander und mit dem Arme. Die mittlere in Fig. 11 im Querschnitt dargestellte Brille dient zur Befestigung des Zahnkranzes mit dem Radarme. Die innere nach der Richtung des Armes gestellte Brille dient zur Befestigung der Arme mit der Rosette. Diese Befestigungen geschehen durch abgedrehte und in der Mitte durchgebohrte Metallscheiben, die zur Hälfte in die Vertiefungen der Brillen und zur Hälfte in die an den Enden der Kegelkränze und Zahnkranzsegmente angebrachten ähnlichen Vertiefungen eingelegt werden, und durch Schraubenbolzen, welche durch die mittleren Durchbohrungen gesteckt und mit Muttern angezogen werden. Die Metallscheiben schützen gegen jede Verschiebung der Theile gegen einander, so dass die Bolzen nur die Theile zusammen zu halten haben. Die gehobelten Flächen c_7 , Fig. 9, kommen überdiess noch zwischen Ansätze zu liegen, die an der Rosette angegossen sind, und je zwei aufeinander folgende Arme berühren sich an der Rosette mit den gehobelten Flächen c_8 , Fig. 9. Diese etwas raffinierte Verbindung mit den Einlegscheiben macht allerdings viele Arbeit, sie ist aber auch äusserst exakt und solid. Die Fig. 8 bis incl. 15 zeigen, dass im Allgemeinen die Querschnitte nach aussen zu verjüngt sind. Diese Verjüngung ist bei den Armen Fig. 14 und 15 ganz stetig, bei dem Arme Fig. 9 dagegen bemerkt man an der mittleren Brille eine plötzliche Aenderung des Querschnitts, was daher kommt, weil die Kraft, welche der äussere Theil dieses Armes bis zur Brille einwärts zu übertragen hat, nur halb so gross ist, als diejenige, welche der innere Theil des Armes bis zur mittleren Brille hinaus übertragen muss.

Fig. 16 bis incl. 19 zeigen die Construction der Rosette. Die obere Hälfte der Fig. 16 ist ein Schnitt der Rosette auf der Zahnkranzseite nach einer Richtung, $\alpha\beta$, welche den Winkel der Richtungen zweier unmittelbar aufeinander folgenden Arme halbirt. Die untere Hälfte von Fig. 16 ist ein Schnitt nach der Richtung eines Armes. Die untere Hälfte von Fig. 17 ist eine Ansicht von der Seite, an welche die Arme angelegt werden, die obere Hälfte ist eine Ansicht von der anderen Seite. Das Gleiche gilt auch in Bezug auf die Figuren 18 und 19, welche die mittlere Rosette des Rades darstellen. Die dritte Rosette stimmt der Form nach genau mit der ersteren überein, hat aber etwas kleinere Dimensionen als diese. Der Hauptkörper einer jeden Rosette wird durch eine Scheibe d und durch die cylindrische Hülse d_1 gebildet. Ueber diese Scheibe ragen die Bogenstücke d_2 , und die brillenförmigen Säume d_3 hervor, erstere aber bedeutend mehr als letztere. Die Säume d_4 sind eben abgedreht und kommen mit den an den inneren Theilen der Arme befindlichen Säumen in Berührung. Die Vertiefungen

a, welche durch die Säume gebildet werden, sind ausgedreht und in der Mitte durchbohrt. Jede von den Seitenrosetten wird durch einen, die mittlere Rosette dagegen wird wegen der Querschnittsform der Welle mit vier Keilen aufgekeilt.

Fig. 20 und 21 zeigen das Getriebe, welches durch den Zahnkranz getrieben wird. Die Zähne sind nach Kreisevolventen gekrümmt, und die Umfangsnerve *e* ist in der Mitte zwischen je zwei Armen erhöht; im Uebrigen ist das Getriebe wie gewöhnlich gebildet.

Die Fig. 22 bis 26 incl. zeigen die Theile des Aufzugs für den Regulirschützen. Fig. 22 ist das Doppellager *f*, in welches die Axe *f*₁ und die Axe *f*₂ für die Leitrolle *f*, eingelegt ist, welche letztere die Zahnstange *f*, gegen die Zähne des Getriebes *f*, hinhält. Die Lager für die Aufzüge brauchen nicht mit Pfannen versehen zu werden, weil diese Aufzüge nur von Zeit zu Zeit bewegt werden, daher ein Ausreiben der Lager nicht eintreten kann.

In Fig. 27, 28, 29 sind die zwei Bolzen dargestellt, die eines von den Gelenken bilden, durch welche die beweglichen Theile des Gerinnes untereinander und mit dem unbeweglichen Theile zusammengegliedert sind.

Fig. 30 bis 34 incl. zeigen einen von den drei Aufzügen der Einlass-Schleusse; *g* ist die Lagerplatte, welche mit zwei Schrauben auf dem oberen Querbalken der Schleusse befestigt wird; *g*₁ sind zwei an die Platte angegossene Schilde, in welchen sich die beiden Axen *g*₁ und *g*₂ des Aufzuges bewegen. Mit *g*₃ ist das Sperrrad *g*₃, das Getriebe *g*₄ und die Kurbel *g*₅ verbunden; mit der Axe *g*₆ das Getriebe *g*₇ und das Stirnrad *g*₈. Um die von dem Getriebe *g*₇ bewegte Zahnstange *g*₉ in vertikaler Richtung und in gleicher Entfernung von der Axe *g*₃ zu erhalten, geht dieselbe durch ein in der Platte *g* angebrachtes Loch und berührt mit ihrer Verstärkungsnerve den von der Axe *g*₃ entfernten Rand dieses Loches. Ein Sperrhaken *g*₁₀ verhindert die rückgängige Bewegung der Winde.

Fig. 35, 36, 37 zeigen die Einrichtung von einer der 18 Laufrollen, mit welchen die drei Schützen der Einlass-Schleusse versehen sind. *h* ist das mit zwei Schrauben an den Schützen geschraubte Lager, welches die in Fig. 37 besonders abgebildeten Zapfen *h*₁ hält, auf welchen sich die Rolle *h*₂ dreht.

Tafel XXII.

Auf dieser Tafel sind zweierlei Anordnungen zum Heben und Senken des Rades und des daran gehängten gegliederten Gerinnes dargestellt.

Fig. 1 bis 8 incl. ist ein Hebwerk mit Stützschauben, in Fig. 9 bis 17 incl. ein Hebwerk mit Hänagschrauben.

Das Stützwerk hat folgende Einrichtung. Auf jeder Seite des Rades ist ein Hebel angebracht, welcher sich um eine Axe dreht, die mit jener der Kolbenwelle übereinstimmt. Diese Hebel werden durch starke Schraubenspindeln gestützt und tragen das Rad, indem es mit den Zapfen seiner Welle auf den Hebeln liegt. Von jedem dieser Hebel gehen zwei Stangen nach dem unter dem Rade befindlichen sattelförmigen Theile des Gerinnes. Die Hebel umgreifen mit ihren schnabelförmigen Enden die Zapfen, mit

welchen die den Stützschauben entsprechenden Schraubenmuttern versehen sind. Werden die beiden Schraubenspindeln gleichzeitig mittelst der zu diesem Zwecke vorhandenen Winden nach der einen oder der anderen Richtung gedreht, so gehen die Muttern hinauf oder herab und die Hebel mit dem Rade und dem daran hängenden Gerinne folgen nach, ohne dass der Eingriff die Zähne des Zahnkranzes in das bei dieser Bewegung ruhig liegen bleibende Getriebe gestört wird.

Die Details dieser Anordnung sind folgendermaassen beschaffen: Die Hebel, welche die Wasserradwelle tragen, haben von ihren Drehungsaxen an bis in die Nähe der Lager für die Wasserradwelle einen T-förmigen Querschnitt. Von da an theilt sich aber die vertikale Hauptnerve *i* Fig. 1, 2, 4, 5, 6 in zwei Nerven *i*, Fig. 1, 2, 3, 7, die aber oben durch eine horizontale, jedoch an zwei Stellen durchbrochene Nerve *i*, verbunden sind. Diese Hebel sind so berechnet und geformt, dass alle Querschnitte bis auf den zehnten Theil ihrer respektiven Festigkeit in Anspruch genommen sind. Der auf der Zahnkranzseite befindliche Hebel endigt mit einem innen zapfenlagerartig eingerichteten, aussen wiegenförmigen Theile *i*₁, der mit seinen halbrunden Rändern in den eben so geformten Ausschnitten des Stuhles aufliegt und sich in denselben drehen kann. In diesem Lager, welches mit Pfannen und mit einem (zwar nicht unumgänglich nothwendigen) Deckel versehen ist, liegt die Kolbenwelle mit ihrem Halse. Wird der Hebel *i* auf und nieder bewegt, so erleidet die Kolbenwelle keine Verschiebung, weil die äussere Rundung des Hebels, mit welcher er im Stuhle aufliegt, mit der Axe der Kolbenwelle concentrisch ist. Der Stuhl *k* besteht aus einer Grundplatte und aus zwei durch eine Nerve vereinigte und verstreute vertikale Schilde mit den zur Lagerung des Hebels geeigneten Ausschnitten. Der Deckel des Lagers wird mittelst zweier Schrauben gegen das Lager niedergeschraubt. Die Bolzen dieser Schrauben sind ankerförmig und in den Körper des Lagers eingelegt. Der Hebel auf der dem Zahnkranze gegenüber befindlichen Seite des Lagers ist mit einer einfachen Drehungsaxe *k*, Fig. 6 versehen, die in einem aus zwei Schilden und aus einer Grundplatte bestehenden Stuhl *k*, aufliegt. Die geometrische Axe von *k*, stimmt mit jener der Kolbenwelle überein. Die Pfannen *i*, Fig. 1, 2, 7, 8, in welchen sich die Zapfen der Wasserradwelle drehen, liegen in halbkreisförmigen, in den Nerven *i*, angebrachten Ausschnitten und sind durch Ränder, welche die inneren Flächen der Nerven *i*, berühren, gegen jede Verschiebung nach der Richtung der Axe des Wasserrades geschützt. Ueber den Zapfen ist ein halbkreisförmiger, aussen cylindrischer, innen vernervter Deckel gestürzt, welcher den Zapfen nicht berührt und die Bestimmung hat, das ringförmige Gussstück *i*, zu tragen. Die Saumnerven dieses Stückes bilden unten zwei doppelte Zapfenhalter, in welche die Stangen *i*, mittelst zweier Zapfen angehängt sind. Die Stangen *i*, sind, wie aus Fig. 1 Tafel XX. zu ersehen ist, zum Verlängern und zum Verkürzen eingerichtet, um den Spielraum zwischen den äusseren Schaufelkanten und dem Gerinnsattel genau reguliren zu können.

1 Fig. 1, 2, 3 ist eine mit zwei Zapfen versehene Schraubenmutter, welche in Verbindung mit der Spindel *l*, eine Art Krücke bildet, die den grossen Hebel unterstützt, indem dieser mit seinen schnabelförmigen Enden die beiden Zapfen der Mutter übergreift. Die Spindel *l*, steht mit ihrem unteren Zapfenende in einer Pfanne, die mit zwei

Zapfen in einem Stuhl m liegt und vermittelt zweier Arme die Axe einer Schraube ohne Ende l , hält, welche durch eine Handkurbel l , gedreht werden kann, wodurch das mit der Spindel l befestigte Wurmrad l , und mithin die Spindel l selbst in drehende Bewegung versetzt wird. Die Wirkung von dieser Vorrichtung bedarf keiner Erklärung. In der höchsten und tiefsten Stellung des Hebels steht die Spindel l vertikal, in der mittleren Stellung, welche in der Zeichnung dargestellt ist, steht sie schief. Die Stühle m und k , stehen hart am Rande der Seitenmauern des Rades, die bei dem Stuhle k höher sind, als bei dem Stuhle m . Da die radialen Kanten nur um den für die Ausführung nothwendigen Spielraum von 2^m von den Seitenmauern entfernt sind, so mussten diese letzteren für das Spiel der Stangen i , welche nothwendig ausserhalb des Rades sein müssen, ausgeschnitten sein.

Wenden wir uns nun zur Beschreibung des Hebwerkes mit Hängschrauben. Bei dieser Anordnung, welche auch in der Zusammenstellung Tafel XX. dargestellt ist, befindet sich auf jeder Seite des Rades ein gusseiserner Arm, durch welchen die Axe der Wasserradwelle in unveränderlicher Entfernung von der Axe der Kolbenwelle erhalten wird. Diese Arme drehen sich um Axen, die mit jener der Kolbenwelle übereinstimmen. Die Wasserradwelle dreht sich mit ihren Zapfen in Pfannen, welche in die ringförmigen Enden der Arme eingelegt sind, und diese Enden sind vermittelt eines Gehänges und einer Schraube an zwei gusseiserne, pyramidale Stühle gehängt, können aber gehoben und gesenkt werden. Von jenen Gehängen gehen Stangen nach dem Gerinnsattel hinab.

Der auf der Seite des Zahnkranzes befindliche Arm n hat im Allgemeinen einen kreuzförmigen Querschnitt, endigt linker Hand, Fig. 9, mit einem Ring von T-förmigem Querschnitt und rechter Hand mit einem innen zapfenlagerartig eingerichteten, aussen wiegenförmigen Theil. Das Lager, in welchem sich die Kolbenwelle dreht, ist mit Schalen und mit einem Deckel versehen, welcher vermittelt zweier Schrauben, Fig. 15, nieder geschraubt wird. Die Ränder der Wiege sind concentrisch mit der Axe der Kolbenwelle und liegen in entsprechenden bogenförmigen Ausschnitten des Stuhles o . In den Ring n , des Armes ist von jeder Seite ein genau einpassender Ring n , eingeschoben. Diese Ringe, welche durch die in sie eingelegte Pfanne n , für den Zapfen der Wasserradwelle zusammengehalten werden, hängen vermittelt des Zapfens p , Fig. 9, 11, 13 an der Schraubenspindel p , und halten vermittelt zweier Zapfen die nach dem Gerinnsattel führenden Stangen p . Ueber die Spindel ist eine Hülse p , geschoben, die vermittelt zweier Zapfen p , auf dem pyramidalen Stuhl q aufliegt und mit einem Axenhalter p , versehen ist, in welchem die Axe der Schraube ohne Ende r liegt, die mit ihren Gewinden in die Zähne des mit einer messingenen Schraubenmutter r , ausgefüllten Rades r , eingreift. Die Mutter liegt mit ihrer unteren ringförmigen Fläche auf der Hülse p , und die Axe der Schraube ist mit einer Kurbel r , versehen. Wird diese Kurbel nach der einen oder nach der anderen Richtung gedreht, so wird die Spindel p mit allen daranhängenden Theilen in die Höhe geschraubt oder niedergelassen.

Die Einrichtung des Hebwerkes auf der dem Zahnkranz gegenüber befindlichen Seite des Rades weicht von der so eben beschriebenen nur darin ab, dass der Verbindungsarm rechter Hand mit einer ganz kurzen Drehungsaxe s , Fig. 16 und 17 ver-

sehen ist, die mit zwei Zapfen in einem Stuhl s , liegt. Die Stühle q auf der einen, und die Stühle q , auf der anderen Seite des Rades sind mit Schrauben gegen gusseiserne, am Rande der Seitenmauern liegende und mit drei starken Bolzen niedergeschraubte Platten t befestigt. Für die Hängstangen p sind in den Seitenmauern Einschnitte u vorhanden, die eine ziemliche Breite haben müssen, weil die Stangen p , beim Heben und Senken ihre Richtung verändern.

Dieses Hebwerk mit den Hängschrauben ist etwas kostspieliger als jenes mit den Stützschauben, allein das erstere gewährt auch eine viel grössere Sicherheit als das letztere.

J. Tafel XXIII.

Zwei Poncelet-Räder.

Beschreibung.

Diese beiden Räder sind nach den Seite 123 und 126 aufgestellten Regeln berechnet und verzeichnet. Um eine symmetrische Anordnung der Figuren zu erhalten, sind die Wassermengen und die Gefälle so gewählt worden, dass beide Räder gleich grosse Halbmesser und Radbreiten erhalten haben.

Das eiserne Rad ist für ein Gefälle von $H = 1^m$ und für eine Wassermenge $Q = 1.11 kbm$ nach den Regeln Seite 123, das hölzerne für ein Gefälle $H = 0.875^m$ und eine Wassermenge $Q = 1.034 kbm$ nach den Regeln Seite 126 berechnet. Das eiserne Rad hat gusseiserne Seitengetäfer, Blechschaufeln, schmiedeiserne Arme, gusseiserne Rosetten und Welle. Die Kraft wird durch die Welle fortgepflanzt. Das Getäfer ist aus einzelnen Segmenten zusammengesetzt, und jedes derselben ist vermittelt 6 Einlegscheiben mit zwei unmittelbar auf einander folgenden Armen verbunden. An die Segmente sind an der inneren Ebene nach den Schaufeln gekrümmte Nerven angegossen, gegen welche die Schaufelbleche mit Schrauben befestigt werden. Die Schaufeln sind unter einander durch Spulen und Bolzen verbunden. Jeder Radarm ist mit zwei Einlegscheiben und mit zwei Bolzen an die Rosette geschraubt. Sie sind von Schmiedeeisen, weil sie von Guss-eisen, um nicht gebrechlich zu sein, viel stärker hätten gemacht werden müssen, als für die zu übertragende Kraft nothwendig wäre. Der Theil der Welle zwischen den Rosetten ist für die Hälfte, die Fortsetzung der Welle für die ganze Kraft berechnet, welche dem Rade mitgetheilt wird. Das Zuleitungsgerinne wird durch zwei mit Brettern verkleidete Seitenmauern und durch einen Bretterboden gebildet. Vor dem Rade befindet sich eine schief gestellte Querwand mit einer Ausflussöffnung, welche durch einen beweglichen Schützen nach Erforderniss regulirt werden kann. Diese schiefe Querwand besteht aus zwei in die Seitenmauern eingemauerten Balken, die unten in eine Querschwelle eingezapft und oben durch zwei Querhölzer verbunden sind, in welche eine Bedielung

eingelegt ist. Der Schützen ist auf einer Seite eben, auf der andern gekrümmt. Die ebene Fläche berührt den untern der beiden Querbalken, die abgerundet dem Zuflusskanal zugewendete Seite dient zur Leitung des Wassers nach der Ausflussöffnung. Durch diese Abrundung wird der Geschwindigkeitsverlust beseitigt, der jedesmal entsteht, wenn in Folge einer starken Kontraktion das Wasser gegen den Gerinnsboden hinstösst. Das Schützenbrett ist an den Enden durch gusseiserne Kappen gefasst, an welche Zahnstangen, die durch zwei an einer Axe befindliche Getriebe auf und ab bewegt werden können, angehängt sind. Das Radgerinne, das heisst der Theil des Gerinnes, welcher sich unter dem Rade befindet, ist aus behauenen Steinen gemacht, die auf einem Fundament von Bruchsteinen liegen. Der sattelförmige Theil des Radgerinnes schützt gegen den Wasserverlust, der bei einem geradlinigen Gerinne jederzeit durch den Spielraum unter dem Rade und auch dadurch entsteht, dass ein Theil des Wassers zwischen den Schaufeln nach dem Abzugskanal gelangt, ohne auf die Schaufeln zu wirken. Der Abflusskanal ist, um das Austreten und Abfliessen des Wassers zu erleichtern, bedeutend breiter als das Rad.

Bei dem hölzernen Rade, Fig. 3 und 4, bestehen die Radkronen, ähnlich wie bei den Zellenrädern, aus zwei Schichten von Felgen, die durch hölzerne Nägel und durch über die äusseren Stossfugen geschraubte Schienen verbunden sind. Die Stossfugen der äusseren Felgenschichten haben eine radiale, jene der inneren Fläche eine schiefe Richtung. Um jede der beiden Radkronen ist ein schmiedeeiserner Reif gezogen, welche dazu beitragen, das Rad rund zu erhalten. Die Schaufeln bestehen aus einzelnen, krumm gehobelten Brettern, die durch Federn aus Blechstreifen und durch schmiedeeiserne, mit Holzschrauben befestigte Bänder zusammengehalten werden. Dieselben sind in die inneren Felgenschichten der Radkronen eingentheth. Die zweimal 6 hölzernen Radarme sind auf die gleiche Weise, wie bei dem Rade Tafel I. durch die Welle gesteckt und fassen aussen mit Verzahnungen die Radkronen. Jeder Radarm ist mit zwei Bolzen an eine Krone geschraubt und die beiden Seiten des Rades sind durch 6 eiserne Stangen gegen einander gezogen, wodurch die Arme gegen die Krone und diese gegen die Schaufeln gepresst werden, so dass diese nicht aus den Nuthen treten können. Die Welle ist mit einem dreiflügligen Schaufelzapfen versehen. Der Zuleitungskanal und die Regulirschützen sind wie bei dem eisernen Rade. Das Radgerinne wird durch neben einander gelegte unter einander mit Schrauben verbundene, und mit ihrem Ende auf Querschwellen aufliegende Längenhölzer gebildet. Der Theil unmittelbar unter der Axe ist wiederum zur Vermeidung des Wasserverlustes nach dem Umfang des Rades gekrümmt. Der Abflusskanal ist breiter als das Rad.

Berechnung der Hauptabmessungen.

a. Des eisernen Rades.

Gegeben ist:

Das Gefälle $H = 1^m$
Der Wasserzufluss in 1 Sekunde $Q = 1.11 kbm$

Der absolute Effekt der Wasserkraft in Pferdekraften . . . $N_a = \frac{1000 Q H}{75} = 14.8$

Nun ist nach den Seite 123 aufgestellten Regeln:

Halbmesser des Rades $R = 1.75 H = 1.75^m$

Die Winkel, welche der Krümmung des Gerinnes entsprechen $\lambda = 15^\circ$

Neigung des Gerinns zwischen der Schützenöffnung und dem Rade gegen den Horizont $\gamma - \delta = 3^\circ$

Dicke der Wasserschichte unmittelbar vor dem Rade $\Delta = \frac{1}{6} H = 0.166^m$

Winkel, welcher dem Durchschnittspunkt des mittleren Wasserfadens mit dem Umfang des Rades entspricht $\gamma = 24^\circ + 29'$

Winkel, unter welchem die Radschaufeln den Umfang des Rades durchschneiden $\beta = 23^\circ + 3'$

Höhe der Radkrone $a = 0.476 H = 0.476^m$

Halbmesser der Schaufelkrümmung $\rho_m = 0.442 H = 0.442^m$

Breite des Rades $b = 6 \frac{Q}{H \sqrt{2 g H}} = 1.5^m$

Anzahl der Radschaufeln $= 36$

Umfangsgeschwindigkeit des Rades $V_r = 0.55 \sqrt{2 g H} = 2.44^m$

Anzahl der Umdrehungen des Rades in 1 Minute $n = 9.548 \frac{V}{R} = 13.3$

Nehmen wir zur Berechnung der Dimensionen der Welle und der Arme an, dass der Nutzeffekt des Rades 75 Prozent betrage, so ist zu setzen . $N_a = 11.1$ und es wird

Durchmesser der Welle zwischen den Rosetten $d = 16 \sqrt[3]{\frac{N_a}{n}} = 12^cm$

Durchmesser des Halses der Welle ausserhalb des Rades $d_1 = 16 \sqrt[3]{\frac{N_a}{n}} = 15^cm$

Anzahl der Radarme eines Armsystems $R = 2 (1 + R) = 6$

Höhe eines Radarmes nach Seite 163 $= 0.941 d = 11.3^cm$

Dicke desselben $\frac{1}{6} 11.3 = 2.26^cm$

Das Gewicht des Rades ist nach der weiter unten folgenden Berechnung $= 4403 Klg.$

Der Durchmesser des Zapfens der Radwelle ist demnach $= 0.18 \sqrt[3]{\frac{1}{2} 4403} = 8.5^cm$

b. Des hölzernen Rades

nach den Seite 126 aufgestellten Regeln. Gegeben ist:

Gefälle $H = 0.875$

Wasserzufluss in 1 Sekunde $Q = 1.034$

Absoluter Effekt in Pferdekraften $N_a = \frac{1000 Q H}{75} = 12.06$

Man erhält nun nach jenen Regeln:

Halbmesser des Rades $R = 2 H = 1.75^m$

Winkel, welcher der Krümmung des Gerinnes entspricht $\lambda = 15^\circ$

Neigung des ebenen Theiles des Gerinnes gegen den Horizont . . . $\gamma - \delta = 3^\circ$
 Dicke der Wasserschichte am Rade $\delta = 0.19 H = 0.166^m$
 Winkel, welcher dem Durchschnittspunkt des mittleren Wasserfadens mit
 dem Radumfang entspricht $\gamma = 24^\circ + 29'$
 Winkel, unter welchem die Schaufeln den Radumfang durchschneiden . . . $\beta = 23^\circ + 3'$
 Höhe der Radkrone $a = 0.509 H = 0.445^m$
 Halbmesser der Schaufelkrümmung $\varrho_m = 0.711 H = 0.622^m$
 Breite des Rades $b = 5.26 \frac{Q}{H \sqrt{2 g H}} = 1.5^m$
 Anzahl der Radschaufeln 42
 Umfangsgeschwindigkeit des Rades $v = 0.55 \sqrt{2 g H} = 2.28$
 Anzahl der Umdrehungen in 1 Minute $n = 9.548 \frac{v}{R} = 12.44$
 Angenommen, das Rad gebe Nutzeffekt 75%
 so ist $N_n = 9.0.5$
 Durchmesser der Radwelle $36 \sqrt{\frac{N}{n}} = 32.4^m$
 Anzahl der Radarme eines Systems $R = 2 (1 + R) = 6$
 Gewicht des Rades = 4820
 Durchmesser des Zapfens $0.18 \sqrt{\frac{1}{2} 4820} = 8.8^m$

Gewichtsbestimmung und Kostenberechnung.

a. Des eisernen Rades.

	Gewicht in Kilogramm.
2 Radkronen	1673
12 schmiedeeiserne Arme	302
2 Rosetten	578
36 Blehschaufeln	1399
1 Welle (von 2 Meter Länge)	221
420 Schrauben	125
Gewicht des Rades ohne Zapfenlager	4298
1 grosses und ein kleineres Zapfenlager	45
Zum Aufzug { 2 Zahnstangen	43
2 Getriebe	4
1 Getriebaxe	13
Gewicht der ganzen Eisenkonstruktion	4403
Gewicht des Rades per Pferdekraft Nutzeffekt	$= \frac{4298}{11.1} = 387 \text{ Kilg.}$
Kosten der Konstruktion per Pferdekraft	$= \frac{4403}{11.1} \frac{50}{100} = 200 \text{ fl.}$

b. Des hölzernen Rades.

Holzkonstruktion.

	Volumen in Kubikmet.	Oberfläche in Quadratmet
am Rade	2.8	143
am Gerinne	1.2	26
	4.0	169

Eisenkonstruktion.

	Gewicht in Kilogramm.
2 Radreifen	99
42 Schaufelbänder	132
6 Stangen zum Zusammenziehen	54
24 Schrauben zu den Armen	3
6 Wellringe	67
2 dreiflüglige Zapfen	111
3 $\times$ 42 Nuthbleche zu den Schaufeln	354
2 Zapfenlager	30
2 Zahnstangen mit Kappen	43
Zum Aufzug { 2 Getriebe	4
1 Axe	13
	910

Zur Kostenberechnung darf man hier für Bearbeitung von 10 Oberfläche der Holzkonstruktion 2 fl. und für 100 Kilg. Eisen 80 fl. in Rechnung bringen. Dann sind die Kosten:

4 Kubikmeter Eichenholz à 20 fl.	80 fl.
169 Quadratmeter zu bearbeitende Oberfläche	338 „
910 Kilogramm Eisen	728 „
	1146 fl.

Kosten des Baues per Pferdekraft Nutzeffekt $= \frac{1146}{9} = 127$ „

Das Gewicht des Rades ohne Gerinne ist = 4820 Kilg.

Das Gewicht des Rades per 1 Pferdekraft = 536 „

K. Tafel XXIV. und XXV.

Schaufelrad mit Ueberfall-Einlauf, mit enger Schaufelung, grosser Tiefe, langsamem Gang.

Die im Vorhergehenden beschriebenen Räder sind nach den im vierten Abschnitt aufgestellten Regeln berechnet worden. Diese Räder sind daher keineswegs vollkommene Anordnungen (siehe Seite 129). Das auf den Tafeln XXIV. und XXV. dargestellte Rad soll als ein Beispiel dienen, um zu zeigen, dass man durch Abänderung einiger von den Dimensionen, welche die normalen Regeln liefern, Räder erhalten kann, die eine vorzügliche Effektleistung zu entwickeln vermögen.

Die Dimensionen dieses Rades sind nämlich in der Art berechnet worden, dass zuerst die im Abschnitt IV. aufgestellten Regeln angewendet wurden, dass aber sodann folgende Abänderungen gemacht wurden: 1) die Umfangsgeschwindigkeit im Verhältniss 2:3 vermindert; 2) die Radtiefe im Verhältniss 3:2 vergrössert; 3) die Anzahl der Schaufeln verdoppelt.

Die folgende Tabelle enthält diese Berechnung nebst den Abänderungen:

Formeln aus Abschnitt IV.	Werthe nach Abschnitt IV.	Abänderungen.
H gegeben	2.5	
Q gegeben	1.5	
$N_a = \frac{1000 Q H}{15}$	5.0	
$N_a = 0.65 N_a$	32.5	
V	1.4	$\frac{2}{3} \times 1.3 = 0.933$
$R = 1.25 H$	3.125	
$m = \frac{Q}{a b v}$	$\frac{1}{2}$	
$\frac{b}{a} = 1.75 \sqrt[3]{N_a}$	6.447	
$b = \sqrt[3]{2 \frac{Q}{v} \frac{a}{b}}$	3.72	
$a = \frac{b}{\frac{b}{a}}$	0.576	$\frac{3}{2} 0.576 = 0.864$
$R = 2 (1 + R)$	8	

Formeln aus Abschnitt IV.	Werthe nach Abschnitt IV.	Änderungen.
$i = \frac{2 R \pi}{0.2 + 0.7 a}$	32	$2 \times 32 = 64$
$t = \left(\frac{Q}{0.44 b \sqrt{2 g}} \right)^{\frac{2}{3}}$	0.362	
$n = \frac{60 V}{2 \pi R}$	4.28	$\frac{2}{3} 4.28 = 2.85$
R_1 angenommen	2.8	

Das Rad ist ganz von Eisen construiert, nach dem Stangensystem angeordnet und mit zwei Zahnkränzen versehen, und zwar aus zwei Gründen: 1) weil bei der geringen Geschwindigkeit die Dimensionen der Zähne übermässig und kaum ausführbar stark ausfallen würden; 2) weil durch Anwendung zweier Zahnkränze und zweier Kolben das Verwinden des Rades aufgehoben wird, also die Umfangsspannstangen weggelassen werden dürfen.

Dass dieses Rad bei so geringer Geschwindigkeit und so enger Schaufelung aber grosser Tiefe einen guten Effekt geben muss, ist wohl auch ohne Rechnung leicht einzusehen. Die Verluste beim Eintritt wie beim Austritt des Wassers müssen wegen der geringen Geschwindigkeit, und der Wasserverlust wegen der geringen Geschwindigkeit und grossen Radtiefe klein ausfallen.

Zur numerischen Berechnung des Effektes hat man:

H = 2.50	h = 0	$\gamma = 70^\circ$	c = 0.3
Q = 1.50	$\delta = 6.0^\circ$	$\beta = 70^\circ$	R = 3.125
v = 0.93	s = 0.02	s = 0.20	f = 0.08
V = 2.8	e = 0.30	S = 4.5	
	b = 3.72	a = 0.864	

und die Formel 39, Seite 86 gibt nun:

Absoluten Effekt der Wasserkraft. $E_a = 50 \times 75$

Effektverlust durch den Eintritt:

$$1000 \frac{Q}{2g} \left\{ v^2 + v^2 - 2 v v \cos \delta + 2g \left[\frac{1}{2} e \sin \gamma + e \sin (\gamma - \beta) - s \right] \right\} = 0.124 E_a$$

Effektverlust bei dem Austritt:

$$1000 Q \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2} h \right) = 0.018 E_a$$

Effektverlust durch Wasserverlust:

$$1000 \varepsilon b \sqrt{2 g e} \left(H - \frac{V^2}{2 g} \right) \left(0.43 + 0.26 \frac{Q}{a b v} \right) \dots\dots\dots = 0.067 E_a$$

Effektverlust wegen des Luftwiderstandes:

$$0.118 i a b v^3 \dots\dots\dots = 0.006 E_a$$

Effektverlust wegen Reibung des Wassers am Gerinne:

$$0.366 b S v^3 \dots\dots\dots = 0.001 E_a$$

Effektverlust wegen Zapfenreibung:

$$7.63 \frac{v}{R} f N_a \sqrt{N_a} \dots\dots\dots = 0.017 E_a$$

Summe der Effektverluste $\dots\dots\dots 0.233 E_a$

Nutzeffekt des Rades $\dots\dots\dots \left\{ \begin{array}{l} E_n = 0.767 E_a \\ N_n = 0.38 N_a \end{array} \right.$

Das Rad verspricht also einen Effekt von nahe 77 Prozent. Noch günstiger würde das Resultat werden, wenn man die Radbreite grösser annähme, allein dann würden die Baukosten noch mehr erhöht werden, als sie es bereits durch die grosse Schaufelzahl sind.

Heberflucht

über die Wasserkräfte, Leistungen, Gewichte und Kosten der auf den grossen Tafeln dargestellten Räder.

Bezeichnung der Tafeln.	Charakteristik des Rades.	Gefälle in Metern.	Wasserzuzunuss per Sekunde in Kubikmetern.	Absoluter Effekt der Wasserkraft in Pferden	Verhältniss zwischen dem Nutzeffekt des Rades und dem absoluten Effekt der Wasserkraft.	Nutzeffekt des Rades in Pferdekraften.	Gewicht des Rades ohne Einlauf und ohne Gerinne in Kilogramm.	Gewicht des Rades per 1 Pferdekraft Nutzeffekt.	Kosten des Rades ohne Einlauf und ohne Gerinne.	Kosten des Rades mit Einlauf und Gerinne.	Kosten des Baues per Pferdekraft Nutzeffekt.
A	Hölzernes Kropfrad	1.5	0.253	5.1	0.53	2.64	1735	667	215	264	100
B	Eisernes Kropfrad	1.5	0.253	5.1	0.53	2.64	1655	626	612	671	254
C	Kleines eisernes überschlächtiges Rad	3	0.225	9	0.70	6.3	3175	504	1587	1747	277
C	Kleines hölzernes überschlächtiges Rad	3	0.225	9	0.61	5.5	2240	408	212	281	51
D	Hölzernes Schaufelrad mit Ueberfall-Einlauf.	2.5	1.5	50	0.72	36	13880	525	3483	4581	127
E	Eisernes Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf.	3	2	80	0.69	54.8	22551	411	8725	9788	180
F	Rückschlächtig-Zellenrad m. Coulissen-Einlauf	5.15	1	68.7	0.78	53.6	26580	495	8996	11561	215
G	Grosses überschlächtiges Rad	12.6	0.19	32	0.83	27.5	22535	819	5828	5900	215
H	Unterschlächtiges Schaufelrad mit Hebewerk	1	5	66.7	0.45	30	11000	366	4768	6976	233
I	Eisernes Poncelet-Rad	1	1.11	14.8	0.76	11.2	4298	384	2149	2749	245
I	Hölzernes Poncelet Rad	0.785	1.03	12.06	0.76	9.2	3620	400	926	1198	130
	Mittlere Werthe	—	—	—	0.67	—	—	509	—	—	(h) 124 (e) 240 (m) 190

(h) Mittel aus allen hölzernen; (e) Mittel aus allen eisernen; (m) Mittel aus allen Rädern überhaupt.

Vergleichung der Wasserräder mit den Turbinen.

Nachdem wir nun die Wasserräder für sich betrachtet haben, müssen wir sie auch im Verhältniss zu den Turbinen ins Auge fassen, denn erst dadurch wird sich der wahre Werth dieser Maschinen herausstellen, werden die Vortheile und Nachtheile derselben zum Vorschein kommen, und wird es endlich möglich werden, die Frage zu beantworten, ob unter gegebenen Umständen die eine oder die andere dieser Maschinen gewählt werden soll.

Vergleichen wir zuerst die beiden Arten von Maschinen hinsichtlich des Nutzeffektes, welchen sie bei verschiedenen Gefällen zu entwickeln vermögen.

Das Verhältniss zwischen dem Nutzeffekt und dem absoluten Effekt der Wasserkraft nimmt, wenn das Gefälle wächst, bei den Wasserrädern zu, bei den Turbinen dagegen nimmt es ab. Bei kleinen Gefällen geben die Turbinen, bei grossen Gefällen die Wasserräder (so weit sie anwendbar sind) bessere Effekte, bei mittleren Gefällen leisten die einen so viel wie die andern.

Veränderungen im Wasserzufluss haben bei den Wasserrädern nur einen sehr geringen, bei den Turbinen aber einen sehr bedeutenden nachtheiligen Einfluss auf die Prozente des Nutzeffektes.

Bei veränderlichem Wasserzufluss sind daher die Turbinen gegen die Wasserräder hinsichtlich des Nutzeffektes im Nachtheil.

Veränderungen im Gefälle haben bei den Turbinen (vorausgesetzt, dass sie selbst beim niedrigsten Stand des Wassers im Abflusskanal ganz getaucht sind) keinen Einfluss auf die Prozente des Nutzeffektes, wohl aber auf die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Rad bewegen muss, um bei jedem Wasserstand den grösstmöglichen Effekt geben zu können.

Veränderungen im Gefälle haben im Allgemeinen einen nachtheiligen Einfluss auf den Nutzeffekt der Wasserräder. Dieser Einfluss ist jedoch nur bei kleinen Gefällen von Bedeutung, weil nur bei diesen die Veränderungen des Gefälles im Vergleich zum totalen Gefälle beträchtlich sind. Aendert sich nur allein das Gefälle, der Wasserzufluss aber nicht, so sind die Turbinen gegen die Wasserräder hinsichtlich des Nutzeffektes im Vortheil. Gewöhnlich ist aber mit einer Abnahme des Gefälles eine Zunahme des Wasserzuflusses verbunden, und dann kann man bei einem Wasserrade die Effektverminderung, welche durch die Aenderung des Gefälles entsteht, wiederum aufheben, indem man dem Rade eine grössere Wassermenge zuleitet.

Wenn also Gefälle und Wasserzufluss gleichzeitig veränderlich sind, und zwar in der Art, dass die Wassermenge wächst, wenn das Gefälle abnimmt und umgekehrt, so sind hinsichtlich des Effektes die Wasserräder im Vortheil.

Eine Aenderung im Gefälle hat übrigens nur bei dem unterschlächtigen und bei dem Ponceletrade einen Einfluss auf die vortheilhafteste Geschwindigkeit, bei allen übrigen Rädern aber, bei welchen das Wasser grösstentheils durch sein Gewicht wirkt, ist die vortheilhafteste Geschwindigkeit unabhängig von kleinen Gefälländerungen.

Die Geschwindigkeit des Ganges kann sowohl bei den Wasserrädern als auch bei

den Turbinen ziemlich stark von derjenigen abweichen, welche dem Maximum des Nutzeffektes entspricht, ohne dass dadurch der letztere merklich kleiner wird. Die Geschwindigkeit kann bei beiden ohne merklichen Nachtheil um ein Viertel von der Normalgeschwindigkeit grösser oder kleiner werden, als diese letztere ist.

Die Konstruktionselemente können bei den Wasserrädern ohne merklichen Nachtheil für den Effekt sehr stark von denjenigen abweichen, welche dem vortheilhaftesten Effekt entsprechen. Bei den Turbinen dagegen müssen jene Elemente sehr genau nach dem Gefälle und nach der Wassermenge berechnet werden, wenn der Effekt günstig ausfallen soll. Die ersteren dieser Maschinen sind daher weit leichter gut anzuordnen, als die letzteren.

Wenn der Widerstand der zu betreibenden Arbeitsmaschine konstant ist, gewähren die Turbinen einen höheren Grad von Gleichförmigkeit der Bewegung als die Wasserräder, und insbesondere einen höheren als die hölzernen. Das Umgekehrte findet statt, wenn die Widerstände, wie z. B. bei Walzwerken, sehr veränderlich sind, indem bei den Wasserrädern die in ihrer Masse enthaltene lebendige Kraft gross, bei den Turbinen aber klein ist. Dieser Nachtheil der Turbinen kann zwar durch Anwendung eines Schwungrads beseitigt werden, allein die Veränderungen in der Geschwindigkeit fallen doch, wenn der Widerstand veränderlich ist, bei den Wasserrädern kleiner aus als bei den Turbinen, weil bei den ersteren der Wasserzufluss bedeutend variiren kann, bei dem letztern aber nicht. Im Allgemeinen sind also bei Maschinen mit veränderlichen Widerständen die Wasserräder den Turbinen vorzuziehen.

Die bisherigen Vergleichen hinsichtlich des Nutzeffektes bezogen sich auf die Kraftmaschine selbst; die Leistung einer Maschinenanlage muss aber nach dem Effekt beurtheilt werden, welcher auf die Arbeitsmaschinen übertragen wird, wir müssen daher auch die Effektverluste betrachten, welche durch die Transmissionen verloren gehen.

Um diese Verluste zu beurtheilen, muss man berücksichtigen:

1) dass bei zwei gleich langen und gleich stark (gleichviel, ob ins Schnelle oder ins Langsame) übersetzenden Transmissionen die durch Reibung entstehenden Effektverluste gleich gross, die durch Stösse und Vibrationen entstehenden Effektverluste aber bei der schneller gehenden, mithin leichteren Transmission etwas grösser ausfallen, als bei den stärkeren und langsamer gehenden.

Da in der Regel die Wahl der Maschinen keinen Einfluss hat auf die Länge der Transmission, so können wir, um die Vergleichung zu vereinfachen, diese Länge unberücksichtigt lassen, und nur allein die Uebersetzung und die Schnelligkeit des Ganges in Betrachtung ziehen.

2) Muss man berücksichtigen, dass die Wasserräder im Allgemeinen einen langsamen, die Turbinen aber einen schnellen Gang haben, und dass dieser mit dem Gefälle bei den ersten ab-, bei den letzteren aber bedeutend zunimmt.

Hieraus folgt, dass in der Regel hinsichtlich des in Rede stehenden Effektverlustes für langsam gehende Arbeitsmaschinen (z. B. für grössere Pumpwerke) eine Wasserradtransmission, für schnell gehende Arbeitsmaschinen eine Turbinentransmission vortheilhafter ausfallen wird. Muss aber mit der ersteren dieser Transmissionen eben so viel ins

Schnelle als mit der letzteren ins Langsame übersetzt werden, so erschöpfen beide ungefähr gleich viel Effekt.

Meistens haben aber die Arbeitsmaschinen einen schmalen Gang, der Vortheil ist daher hinsichtlich des Effektverlustes, den die Transmission verursacht, auf Seite der Turbinen.

Vergleichen wir nun die Wasserräder mit den Turbinen hinsichtlich der Kosten des Wasserbaues der Maschinen und der Transmission.

Der Wasserbau, d. h. der Bau zur Fassung und Leitung des Wassers, ist bei kleineren und mittleren Gefällen für Turbinen wie für Wasserräder ganz gleich, ist aber das Gefälle gross, so wird das Wasser den ersteren in einer Röhrenleitung, den letzteren aber in einer offenen hölzernen oder gemauerten Kanalleitung zugeführt. Die Kosten dieser beiden Leitungen sind im Allgemeinen nur wenig verschieden, wir können daher die Anlagen eines Wasserrades und eines Turbinenbetriebes hinsichtlich der Kosten des Wasserbaues gleich stellen.

Die Kosten der Anschaffung und Aufstellung der Maschinen nehmen für eine Pferdekraft Nutzeffekt bei den Wasserrädern mit dem Gefälle und mit der Wassermenge etwas zu, bei den Turbinen dagegen nehmen sie ab, wenn das Gefälle wächst. Die ersteren sind daher vorzugsweise für kleinere, die letzteren vorzugsweise für grössere Gefälle ökonomisch vortheilhaft.

Für Gefälle bis zu 2^m, die Wassermenge mag nun gross oder klein sein, so wie auch für Gefälle von 2 bis 6^m und einen Wasserzufluss bis zu 0.25 m³ kostet eine Turbine so viel, als ein eisernes Rad, mithin mehr als ein hölzernes Wasserrad. Für Gefälle von 1 bis 6^m und grössere Wasserquantitäten, so wie auch für Gefälle über 6^m, die Wassermenge mag gross oder klein sein, kostet eine Turbine bedeutend weniger, als ein Wasserrad.

Die Anschaffungskosten der Transmission sind, wenige Fälle abgerechnet, bei Turbinen geringer, als bei Wasserrädern: denn in den meisten Fällen haben sowohl die Arbeitsmaschinen als auch die Turbinen grosse Geschwindigkeiten, sie erfordern also in der Regel wenig Uebersetzungen und bei der grossen Geschwindigkeit aller Theile der Transmission fallen die Querschnittsdimensionen und daher auch die Gewichte derselben um ein Namhaftes kleiner aus, als für Wasserräder.

Die Herstellung der Radstube und der Bau für die Aufstellung der Maschine kostet bei kleinen Gefällen für beide Maschinen ungefähr gleich viel: in dem Masse aber, als das Gefälle grösser wird, nehmen diese Kosten für die Turbine ab und für das Wasserrad zu, so dass sie für Gefälle, die grösser als 12^m sind, bei der ersteren sehr unbedeutend ausfallen, bei der letzteren dagegen sehr hoch zu stehen kommen.

Schlamm, Sand, Eisstücke, Baumzweige und Blätter, so wie andere im Wasser oftmals enthaltene Körper können nicht leicht den Gang und die Wirkung eines Wasserrades stören, eine Turbine dagegen verträgt nur reines Wasser. Die Störungen, welche die im Wasser befindlichen Körper verursachen, sind übrigens nur bei kleineren Turbinen von Bedeutung, denn bei den grösseren sind die Kanäle des Leit- und Turbineurades schon so weit, dass kleinere Körper durchkommen können. Bei kleinen Turbinen werden

aber die Kanäle durch Baumblätter, Holzspähne etc. sehr leicht verstopft, und wenn die Maschine nicht in der Art gebaut ist, dass man sie mit Leichtigkeit und ohne Zeitverlust oftmals reinigen kann, so ist an eine gleichförmige Fortwirkung der Maschine nicht zu denken.

Das Wasser ist in der Regel rein in Gegenden, in welchen Nadelholzwaldungen, dagegen unrein, da wo Laubholzwaldungen vorherrschend sind. Kleine Turbinen sind daher für Gegenden mit Laubholzwaldungen nicht zu empfehlen.

Was die Dauerhaftigkeit betrifft, so sind die Turbinen den eisernen Wasserrädern gleich zu stellen; wie es sich mit der Dauerhaftigkeit der hölzernen Wasserräder verhält, ist schon an mehreren Orten gesagt worden.

Nachdem wir die Wasserräder in den verschiedenen Hinsichten mit den Turbinen verglichen haben, bleibt uns noch die wichtige Frage zu beantworten übrig, in welchen Fällen zur Benutzung einer Wasserkraft ein hölzernes Wasserrad, in welchen ein eisernes, und in welchen eine Turbine gewählt werden soll. Erschöpfend kann diese Frage nicht beantwortet werden, denn die Zahl der möglichen Combinationen von den verschiedenen Umständen, welche für und gegen den Bau einer jeden von diesen Maschinen sprechen, ist ausserordentlich gross und das Gewicht jedes einzelnen Umstandes kann im Allgemeinen nicht ermittelt werden. In den meisten Fällen wird man aber eine ziemlich richtige Wahl treffen, wenn man nur die zwei wichtigsten von den zu berücksichtigenden Umständen, nämlich: 1) die Grösse des Baukapitals, welches für ein Unternehmen verwendet werden darf und kann und 2) die Grösse und Beschaffenheit der disponibeln Wasserkraft in Erwägung zieht, und unter dieser Voraussetzung glaube ich nach reiflicher Ueberlegung für die Wahl der Maschine die Vorschrift empfehlen zu dürfen, welche die folgende Tabelle enthält.

In derselben bedeutet der Kürze wegen:

K das Baukapital, welches verwendet werden kann oder darf.

H und Q das Gefälle und der Wasserzufluss in 1 Sekunde.

$N_a > N_n$ es sei die disponible Wasserkraft bedeutend (etwa zweimal) so gross, als der zum Betriebe erforderliche Nutzeffekt.

$N_a = N_n$ es sei die disponible Wasserkraft nur bei sehr vortheilhafter Benutzung zum Betriebe der Maschinen hinreichend.

Vorschrift für die Wahl der Maschine.

Ist das Gefälle und die Wassermenge		so soll gewählt werden :		
		ein hölzernes Rad	ein eisernes Rad	eine Turbine
nicht über 2 ^m	gross oder klein	wenn K klein	1) wenn K gross , H und Q constant , Na > Nn 2) wenn K gross , H und Q veränder- lich ,	wenn K gross , H und Q constant , Na = Nn
zwischen 2 ^m und 6 ^m	nicht grösser als 0.3 kbm	wenn K klein	wenn K gross	niemals
zwischen 2 ^m und 6 ^m oder zwischen 6 ^m und 12 ^m	grösser als 0.3 kbm gross oder klein	wenn K klein und Na = Nn	wenn K gross und Na = Nn	wenn K gross , und Na > Nn
grösser als 12 ^m	gross oder klein	niemals	niemals	jederzeit

Erklärungen zu den folgenden Tafeln.

Zur Erleichterung einiger bei dem Gebrauche des vorliegenden Buches stets wiederkehrenden Berechnungen folgen nun noch mehrere allgemein bekannte Tabellen.

Die Tabelle I. enthält die zu verschiedenen Geschwindigkeiten gehörigen Fallhöhen.

Tabelle II. enthält die von *Poncelet* und *Lebros* gefundenen Coeffizienten zur Berechnung der Wasserquantitäten, die bei verschiedenen Druckhöhen durch Oeffnungen in dünnen Wänden in die freie Luft ausfliessen.

Zur Berechnung dieser Wasserquantitäten hat man:

$$Q = m A \sqrt{2 g h}$$

wobei:

Q die in 1 Sekunde ausfliessende Wassermenge in Kubikmetern,

A den Querschnitt der Ausflussöffnung in Quadratmetern,

h die Druckhöhe über dem Schwerpunkt der Ausflussöffnung,

m den aus der Tabelle II. zu nehmenden Contraktions-Coeffizienten bezeichnet.

Wenn die Contraktion nicht auf allen, sondern nur auf drei oder auf zwei oder endlich nur auf einer Seite der Ausflussöffnung stattfindet, so erhält man die wirklich ausfliessende Wassermenge, wenn man die der vollkommenen Contraktion entsprechende Wassermenge beziehungsweise mit

$$1.035, 1.075, 1.125$$

multiplicirt.

Tabelle III. gibt die Wassermenge in Kubikmetern, welche bei vollkommenen Ueberfällen auf jeden Meter Breite bei verschiedenen Dicken der Wasserschichte abfliessen. Diese Wasserquantitäten sind nach der Formel

$$q = m h \sqrt{2 g h}$$

berechnet worden, in welcher

q die in 1 Sekunde über jeden Meter Breite des Ueberfalls abfliessende Wassermenge,

h = E B, Tafel 6, Fig. 65, die Höhe des Wasserstandes im Zuflusskanal über dem oberen Rand des Ueberfalles,

m = 0.443 einen Erfahrungscoeffizienten bezeichnet.

Tabelle IV. gibt für alle ganzen Zahlen n von 1 bis 100 die entsprechenden Werthe von

$$n \pi, n^2 \frac{\pi}{4}, n^2, n^3, \sqrt{n}, \sqrt[3]{n}$$

Tabelle I.

Geschwindigkeiten und zugehörige Fallhöhen.

Geschwin- digkeit.	Fallhöhe.	Geschwin- digkeit.	Fallhöhe.	Geschwin- digkeit.	Fallhöhe.	Geschwin- digkeit.	Fallhöhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
0.01	0.00001	0.51	0.0132	1.01	0.0520	1.51	0.1162
0.02	0.00002	0.52	0.0138	1.02	0.0530	1.52	0.1177
0.03	0.00005	0.53	0.0143	1.03	0.0541	1.53	0.1193
0.04	0.00009	0.54	0.0148	1.04	0.0551	1.54	0.1209
0.05	0.00013	0.55	0.0154	1.05	0.0562	1.55	0.1225
0.06	0.00019	0.56	0.0160	1.06	0.0573	1.56	0.1241
0.07	0.00026	0.57	0.0165	1.07	0.0584	1.57	0.1257
0.08	0.00034	0.58	0.0171	1.08	0.0595	1.58	0.1273
0.09	0.00043	0.59	0.0177	1.09	0.0606	1.59	0.1289
0.10	0.00051	0.60	0.0184	1.10	0.0617	1.60	0.1305
0.11	0.00062	0.61	0.0190	1.11	0.0628	1.61	0.1321
0.12	0.00074	0.62	0.0196	1.12	0.0639	1.62	0.1337
0.13	0.00087	0.63	0.0202	1.13	0.0651	1.63	0.1354
0.14	0.00101	0.64	0.0209	1.14	0.0662	1.64	0.1371
0.15	0.00115	0.65	0.0215	1.15	0.0674	1.65	0.1388
0.16	0.00131	0.66	0.0222	1.16	0.0686	1.66	0.1405
0.17	0.00148	0.67	0.0229	1.17	0.0698	1.67	0.1422
0.18	0.00166	0.68	0.0236	1.18	0.0710	1.68	0.1440
0.19	0.00185	0.69	0.0243	1.19	0.0722	1.69	0.1456
0.20	0.00204	0.70	0.0250	1.20	0.0734	1.70	0.1473
0.21	0.00225	0.71	0.0257	1.21	0.0746	1.71	0.1490
0.22	0.00247	0.72	0.0264	1.22	0.0758	1.72	0.1508
0.23	0.00270	0.73	0.0272	1.23	0.0771	1.73	0.1525
0.24	0.00294	0.74	0.0279	1.24	0.0783	1.74	0.1543
0.25	0.00319	0.75	0.0287	1.25	0.0797	1.75	0.1561
0.26	0.00345	0.76	0.0295	1.26	0.0809	1.76	0.1579
0.27	0.00372	0.77	0.0302	1.27	0.0822	1.77	0.1597
0.28	0.00400	0.78	0.0310	1.28	0.0835	1.78	0.1615
0.29	0.00429	0.79	0.0318	1.29	0.0848	1.79	0.1633
0.30	0.00459	0.80	0.0326	1.30	0.0861	1.80	0.1651
0.31	0.00490	0.81	0.0334	1.31	0.0875	1.81	0.1670
0.32	0.00522	0.82	0.0343	1.32	0.0888	1.82	0.1688
0.33	0.00555	0.83	0.0351	1.33	0.0901	1.83	0.1707
0.34	0.00589	0.84	0.0360	1.34	0.0915	1.84	0.1726
0.35	0.00624	0.85	0.0368	1.35	0.0929	1.85	0.1745
0.36	0.00660	0.86	0.0377	1.36	0.0943	1.86	0.1763
0.37	0.00697	0.87	0.0386	1.37	0.0957	1.87	0.1782
0.38	0.00735	0.88	0.0395	1.38	0.0970	1.88	0.1801
0.39	0.00775	0.89	0.0404	1.39	0.0984	1.89	0.1820
0.40	0.00816	0.90	0.0413	1.40	0.0999	1.90	0.1840
0.41	0.00860	0.91	0.0422	1.41	0.1013	1.91	0.1859
0.42	0.00900	0.92	0.0431	1.42	0.1028	1.92	0.1878
0.43	0.00940	0.93	0.0441	1.43	0.1042	1.93	0.1898
0.44	0.00980	0.94	0.0450	1.44	0.1057	1.94	0.1918
0.45	0.00030	0.95	0.0460	1.45	0.1072	1.95	0.1938
0.46	0.00080	0.96	0.0470	1.46	0.1086	1.96	0.1958
0.47	0.01120	0.97	0.0480	1.47	0.1101	1.97	0.1978
0.48	0.01170	0.98	0.0490	1.48	0.1116	1.98	0.1998
0.49	0.01220	0.99	0.0500	1.49	0.1131	1.99	0.2018
0.50	0.01270	1.00	0.0510	1.50	0.1147	2.00	0.2039

Tabelle I.

Geschwindigkeiten und zugehörige Fallhöhen (Fortsetzung).

Geschwin- digkeit.	Fallhöhe.	Geschwin- digkeit.	Fallhöhe.	Geschwin- digkeit.	Fallhöhe.	Geschwin- digkeit.	Fallhöhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
2.01	0.2059	2.51	0.3211	3.01	0.4618	3.51	0.6280
2.02	0.2080	2.52	0.3237	3.02	0.4649	3.52	0.6316
2.03	0.2100	2.53	0.3263	3.03	0.4680	3.53	0.6352
2.04	0.2121	2.54	0.3289	3.04	0.4711	3.54	0.6388
2.05	0.2142	2.55	0.3315	3.05	0.4742	3.55	0.6424
2.06	0.2163	2.56	0.3341	3.06	0.4773	3.56	0.6460
2.07	0.2184	2.57	0.3367	3.07	0.4804	3.57	0.6497
2.08	0.2205	2.58	0.3393	3.08	0.4835	3.58	0.6533
2.09	0.2226	2.59	0.3419	3.09	0.4866	3.59	0.6569
2.10	0.2248	2.60	0.3446	3.10	0.4899	3.60	0.6606
2.11	0.2269	2.61	0.3472	3.11	0.4930	3.61	0.6643
2.12	0.2291	2.62	0.3499	3.12	0.4962	3.62	0.6680
2.13	0.2313	2.63	0.3526	3.13	0.4994	3.63	0.6717
2.14	0.2334	2.64	0.3553	3.14	0.5026	3.64	0.6754
2.15	0.2356	2.65	0.3580	3.15	0.5058	3.65	0.6791
2.16	0.2378	2.66	0.3607	3.16	0.5090	3.66	0.6828
2.17	0.2400	2.67	0.3634	3.17	0.5122	3.67	0.6866
2.18	0.2422	2.68	0.3661	3.18	0.5155	3.68	0.6903
2.19	0.2444	2.69	0.3688	3.19	0.5187	3.69	0.6940
2.20	0.2467	2.70	0.3716	3.20	0.5220	3.70	0.6978
2.21	0.2490	2.71	0.3744	3.21	0.5252	3.71	0.7016
2.22	0.2512	2.72	0.3771	3.22	0.5285	3.72	0.7054
2.23	0.2535	2.73	0.3799	3.23	0.5318	3.73	0.7092
2.24	0.2557	2.74	0.3827	3.24	0.5351	3.74	0.7130
2.25	0.2580	2.75	0.3855	3.25	0.5384	3.75	0.7168
2.26	0.2603	2.76	0.3883	3.26	0.5417	3.76	0.7206
2.27	0.2626	2.77	0.3911	3.27	0.5450	3.77	0.7245
2.28	0.2649	2.78	0.3939	3.28	0.5484	3.78	0.7283
2.29	0.2673	2.79	0.3967	3.29	0.5517	3.79	0.7322
2.30	0.2696	2.80	0.3996	3.30	0.5551	3.80	0.7361
2.31	0.2720	2.81	0.4025	3.31	0.5585	3.81	0.7400
2.32	0.2743	2.82	0.4054	3.32	0.5618	3.82	0.7438
2.33	0.2767	2.83	0.4082	3.33	0.5652	3.83	0.7478
2.34	0.2791	2.84	0.4111	3.34	0.5686	3.84	0.7517
2.35	0.2815	2.85	0.4140	3.35	0.5721	3.85	0.7556
2.36	0.2839	2.86	0.4169	3.36	0.5755	3.86	0.7595
2.37	0.2863	2.87	0.4198	3.37	0.5789	3.87	0.7634
2.38	0.2887	2.88	0.4228	3.38	0.5823	3.88	0.7674
2.39	0.2911	2.89	0.4257	3.39	0.5858	3.89	0.7713
2.40	0.2936	2.90	0.4287	3.40	0.5893	3.90	0.7753
2.41	0.2960	2.91	0.4316	3.41	0.5927	3.91	0.7793
2.42	0.2985	2.92	0.4346	3.42	0.5962	3.92	0.7833
2.43	0.3010	2.93	0.4376	3.43	0.5997	3.93	0.7873
2.44	0.3034	2.94	0.4406	3.44	0.6032	3.94	0.7913
2.45	0.3060	2.95	0.4436	3.45	0.6067	3.95	0.7953
2.46	0.3085	2.96	0.4466	3.46	0.6102	3.96	0.7993
2.47	0.3110	2.97	0.4496	3.47	0.6138	3.97	0.8034
2.48	0.3135	2.98	0.4526	3.48	0.6173	3.98	0.8074
2.49	0.3160	2.99	0.4557	3.49	0.6209	3.99	0.8115
2.50	0.3186	3.00	0.4588	3.50	0.6244	4.00	0.8156

Tabelle II.

Coeffizienten zur Berechnung der Wassermengen, welche aus vertikalen, in dünnen Gefässwänden vorhandenen Oeffnungen bei vollständiger Contraction des Strahles ausfliessen.

Wasserstände über dem oberen Rande der Oeffnung.	Coeffizienten für die Wassermengen, wenn die Höhe der Ausflussöffnung					
	0 ^m ·20	0 ^m ·10	0 ^m ·05	0 ^m ·03	0 ^m ·02	0 ^m ·01
0·000	—	—	—	—	—	—
0·005	—	—	—	—	—	0·705
0·010	—	—	—	—	—	0·701
0·015	—	0·693	0·612	0·630	0·660	0·697
0·020	0·572	0·696	0·615	0·634	0·659	0·694
0·030	0·578	0·600	0·620	0·638	0·659	0·688
0·040	0·582	0·603	0·623	0·640	0·658	0·683
0·050	0·585	0·605	0·625	0·640	0·658	0·679
0·060	0·587	0·607	0·627	0·640	0·657	0·676
0·070	0·588	0·609	0·628	0·639	0·656	0·673
0·080	0·589	0·610	0·629	0·638	0·656	0·670
0·090	0·591	0·610	0·629	0·637	0·655	0·668
0·100	0·592	0·611	0·630	0·637	0·654	0·666
0·120	0·593	0·612	0·630	0·636	0·653	0·663
0·140	0·595	0·613	0·630	0·635	0·651	0·660
0·160	0·596	0·614	0·631	0·634	0·650	0·658
0·180	0·597	0·615	0·630	0·634	0·649	0·657
0·200	0·598	0·615	0·630	0·633	0·648	0·655
0·250	0·599	0·616	0·630	0·632	0·646	0·653
0·300	0·600	0·616	0·629	0·632	0·644	0·650
0·400	0·602	0·617	0·628	0·631	0·642	0·647
0·500	0·603	0·617	0·628	0·630	0·640	0·644
0·600	0·604	0·617	0·627	0·630	0·638	0·642
0·700	0·604	0·616	0·627	0·629	0·637	0·640
0·800	0·605	0·616	0·627	0·629	0·636	0·637
0·900	0·605	0·615	0·626	0·628	0·634	0·635
1·000	0·605	0·615	0·626	0·628	0·633	0·632
1·100	0·604	0·614	0·625	0·627	0·631	0·629
1·200	0·604	0·614	0·624	0·626	0·628	0·626
1·300	0·603	0·613	0·622	0·624	0·625	0·622
1·400	0·603	0·612	0·621	0·622	0·622	0·618
1·500	0·602	0·611	0·620	0·620	0·619	0·615
1·600	0·602	0·611	0·618	0·618	0·617	0·613
1·700	0·602	0·610	0·617	0·616	0·615	0·612
1·800	0·601	0·609	0·615	0·615	0·614	0·612
1·900	0·601	0·608	0·614	0·613	0·612	0·611
2·000	0·601	0·607	0·613	0·612	0·612	0·611
3·000	0·601	0·603	0·606	0·608	0·610	0·609

Tabelle III.

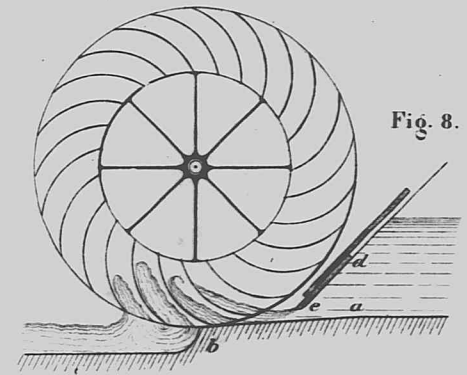
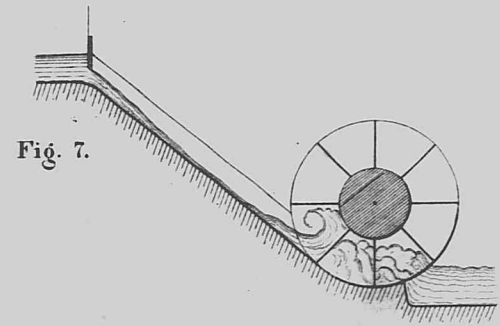
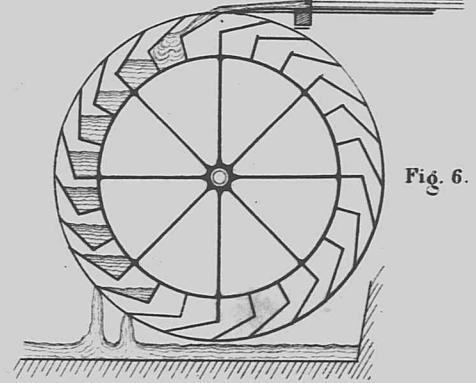
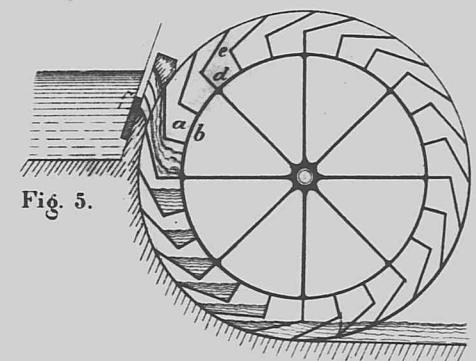
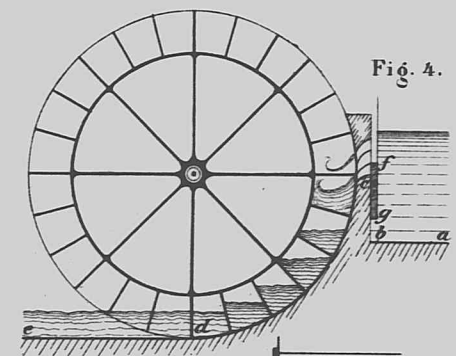
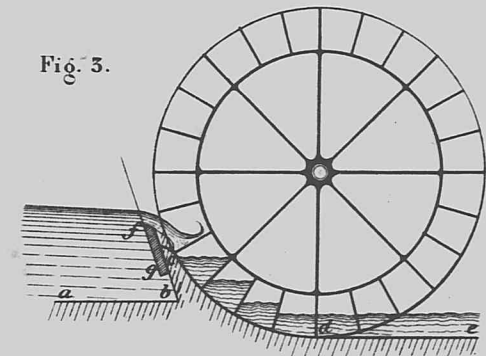
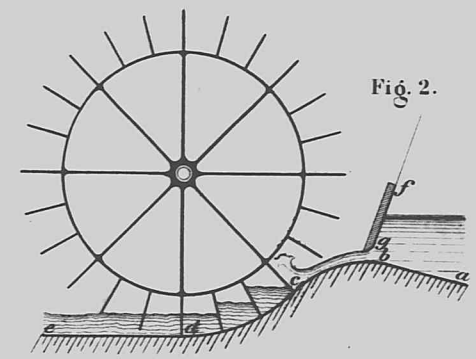
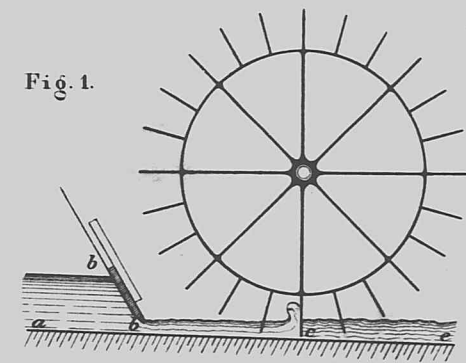
• Tabelle der Wassermengen, welche bei vollkommenen Ueberfällen auf jeden Meter Breite bei verschiedenen Dicken der Wasserschichte abfliessen. Kanal und Ueberfall gleich breit.

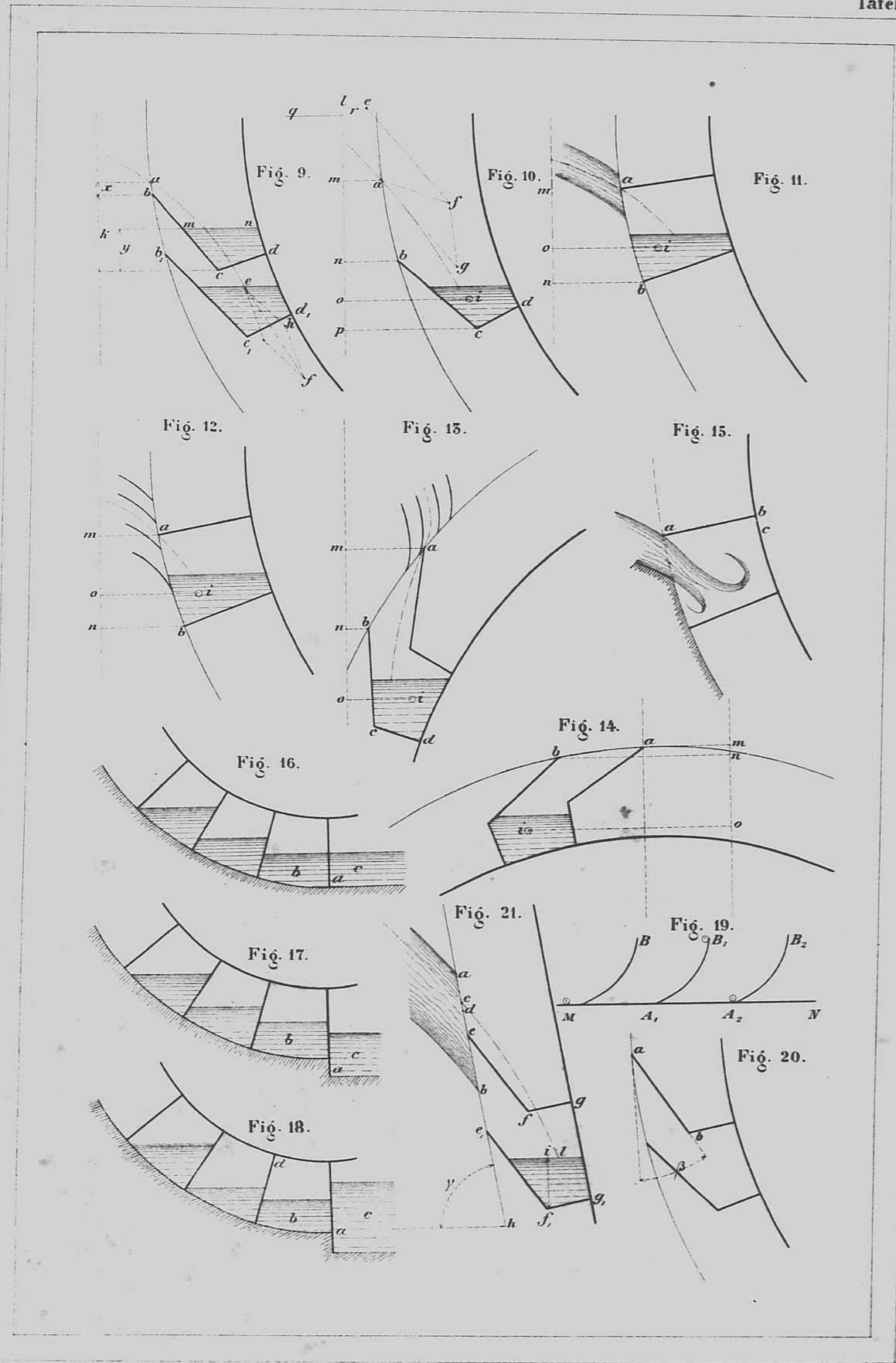
Wasser- stand.	Wasser- menge.	Wasser- stand.	Wasser- menge.	Wasser- stand.	Wasser- menge.	Wasser- stand.	Wasser- menge.	Wasser- stand.	Wasser- menge.
Meter.	Liter.	Meter.	Liter.	Meter.	Liter.	Meter.	Liter.	Meter.	Liter.
0·050	22·1	0·080	44·4	0·130	92·1	0·180	150·1	0·230	216·6
0·051	22·6	0·082	46·1	0·132	94·3	0·182	152·5	0·235	223·6
0·052	23·3	0·084	47·8	0·134	96·2	0·184	154·9	0·240	230·6
0·053	24·3	0·086	49·5	0·136	98·5	0·186	157·3	0·245	237·9
0·054	24·6	0·088	51·2	0·138	100·7	0·188	160·1	0·250	245·2
0·055	25·3	0·090	53·0	0·140	103·0	0·190	162·5	0·255	252·6
0·056	26·0	0·092	54·7	0·142	105·0	0·192	165·0	0·260	260·1
0·057	26·7	0·094	56·5	0·144	107·4	0·194	167·5	0·265	267·8
0·058	27·4	0·096	58·3	0·146	109·4	0·196	170·4	0·270	275·5
0·059	28·1	0·098	60·2	0·148	111·8	0·198	172·9	0·275	282·8
0·060	28·8	0·100	62·0	0·150	114·2	0·200	175·8	0·280	290·6
0·061	29·6	0·102	63·8	0·152	116·3	0·202	177·9	0·285	298·6
0·062	30·3	0·104	65·9	0·154	118·4	0·204	180·9	0·290	306·7
0·063	31·0	0·106	67·8	0·156	120·9	0·206	183·9	0·295	314·3
0·064	31·8	0·108	69·7	0·158	123·4	0·208	186·1	0·300	322·6
0·065	32·5	0·110	71·7	0·160	125·6	0·210	189·1	0·305	330·3
0·066	33·3	0·112	73·4	0·162	128·1	0·212	190·1	0·310	338·8
0·067	34·0	0·114	75·6	0·164	130·3	0·214	195·6	0·315	346·7
0·068	34·8	0·116	77·8	0·166	132·9	0·216	196·6	0·320	355·4
0·069	35·6	0·118	79·6	0·168	133·2	0·218	199·7	0·325	363·4
0·070	36·3	0·120	81·7	0·170	137·8	0·220	202·4	0·330	371·9
0·072	37·9	0·122	83·8	0·172	140·0	0·222	205·2	0·335	380·6
0·074	39·5	0·124	85·6	0·174	142·3	0·224	207·9	0·340	388·9
0·076	40·1	0·126	88·0	0·176	144·7	0·226	210·6	0·345	397·3
0·078	42·7	0·128	90·0	0·178	147·4	0·228	213·4	0·350	406·5

Tabelle IV.

n	n π	$n^2 \frac{\pi}{4}$	n²	n³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$
1	3.14	0.78	1	1	1.000	1.000
2	6.28	3.14	4	8	1.414	1.259
3	9.42	7.07	9	27	1.732	1.442
4	12.57	12.57	16	64	2.000	1.587
5	15.71	19.63	25	125	2.236	1.709
6	18.85	28.27	36	216	2.449	1.817
7	21.99	38.48	49	343	2.645	1.912
8	25.13	50.26	64	512	2.828	2.000
9	28.27	63.61	81	729	3.000	2.080
10	31.41	78.54	100	1000	3.162	2.154
11	34.55	95.03	121	1331	3.316	2.223
12	37.69	113.09	144	1728	3.464	2.289
13	40.84	132.73	169	2197	3.605	2.351
14	43.98	153.93	196	2744	3.741	2.410
15	47.12	176.71	225	3375	3.872	2.466
16	50.26	201.06	256	4096	4.000	2.519
17	53.40	226.98	289	4913	4.123	2.571
18	56.54	254.46	324	5832	4.242	2.620
19	59.69	283.52	361	6859	4.358	2.668
20	62.83	314.15	400	8000	4.472	2.714
21	65.97	346.36	441	9261	4.582	2.758
22	69.11	380.13	484	10648	4.690	2.802
23	72.25	415.47	529	12167	4.795	2.843
24	75.39	452.38	576	13824	4.898	2.884
25	78.54	490.87	625	15625	5.000	2.924
26	81.68	530.02	676	17576	5.099	2.962
27	84.82	572.55	729	19683	5.196	3.000
28	87.96	615.75	784	21952	5.291	3.036
29	91.10	660.52	841	24389	5.385	3.072
30	94.24	706.85	900	27000	5.477	3.107
31	97.38	754.76	961	29791	5.567	3.141
32	100.53	804.24	1024	32768	5.656	3.174
33	103.67	855.29	1089	35937	5.744	3.207
34	106.81	907.92	1156	39304	5.830	3.239
35	109.95	962.11	1225	42875	5.916	3.271
36	113.09	1017.87	1296	46656	6.000	3.301
37	116.23	1075.21	1369	50653	6.082	3.332
38	119.38	1134.11	1444	54872	6.164	3.361
39	122.52	1194.59	1521	59319	6.244	3.391
40	125.66	1256.63	1600	64000	6.324	3.419
41	128.80	1320.25	1681	68921	6.403	3.448
42	131.94	1385.44	1764	74088	6.480	3.476
43	135.08	1452.20	1849	79507	6.557	3.503
44	138.23	1520.52	1936	85184	6.633	3.530
45	141.37	1590.43	2025	91125	6.708	3.556
46	144.51	1661.90	2116	97336	6.782	3.583
47	147.65	1734.94	2209	103823	6.855	3.608
48	150.79	1809.55	2304	110592	6.928	3.634
49	153.93	1885.74	2401	117649	7.000	3.659
50	157.08	1963.49	2500	125000	7.071	3.684

n	n π	$n^2 \frac{\pi}{4}$	n²	n³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$
51	160.22	2042.82	2601	132651	7.141	3.708
52	163.36	2123.71	2704	140608	7.211	3.732
53	166.50	2206.18	2809	148877	7.280	3.756
54	169.64	2290.21	2916	157464	7.348	3.779
55	172.78	2375.82	3025	166375	7.416	3.802
56	175.92	2463.09	3136	175616	7.483	3.825
57	179.07	2551.75	3249	185193	7.549	3.848
58	182.21	2642.08	3364	195112	7.615	3.870
59	185.35	2733.97	3481	205379	7.681	3.892
60	188.49	2827.43	3600	216000	7.745	3.914
61	191.63	2922.46	3721	226981	7.810	3.936
62	194.77	3019.07	3844	238328	7.874	3.957
63	197.92	3117.24	3969	250047	7.937	3.979
64	201.06	3216.99	4096	262144	8.000	4.000
65	204.20	3318.30	4225	274625	8.062	4.020
66	207.34	3421.18	4356	287496	8.124	4.041
67	210.48	3525.65	4489	300763	8.185	4.061
68	213.62	3631.68	4624	314432	8.246	4.081
69	216.77	3739.28	4761	328509	8.306	4.101
70	219.91	3848.45	4900	343000	8.366	4.121
71	223.05	3959.19	5041	357911	8.426	4.140
72	226.19	4071.50	5184	373248	8.485	4.160
73	229.33	4185.38	5329	389017	8.544	4.179
74	232.47	4300.84	5476	405224	8.602	4.198
75	235.61	4417.86	5625	421875	8.660	4.217
76	238.76	4536.45	5776	438976	8.717	4.235
77	241.90	4656.62	5929	456533	8.774	4.254
78	245.04	4778.36	6084	474552	8.831	4.272
79	248.18	4901.66	6241	493039	8.888	4.290
80	251.32	5026.54	6400	512000	8.944	4.308
81	254.46	5153.00	6561	531441	9.000	4.326
82	257.61	5281.01	6724	551369	9.055	4.344
83	260.75	5410.59	6889	571787	9.110	4.362
84	263.89	5541.77	7056	592704	9.165	4.379
85	267.03	5674.50	7225	614125	9.219	4.396
86	270.17	5808.80	7396	636056	9.273	4.414
87	273.31	5944.67	7569	658503	9.327	4.431
88	276.46	6082.11	7744	681472	9.380	4.447
89	279.60	6221.13	7921	704969	9.433	4.461
90	282.74	6361.72	8100	729000	9.486	4.481
91	285.88	6503.87	8281	753571	9.539	4.497
92	289.02	6647.61	8464	778688	9.591	4.514
93	292.16	6792.90	8649	804357	9.643	4.530
94	295.31	6939.78	8836	830584	9.695	4.546
95	298.45	7088.21	9025	857375	9.746	4.562
96	301.59	7238.23	9216	884736	9.797	4.578
97	304.73	7389.81	9409	912673	9.848	4.594
98	307.87	7542.96	9604	941192	9.899	4.610
99	311.01	7697.68	9801	970299	9.949	4.626
100	314.15	7853.97	10000	1000000	10.000	4.641





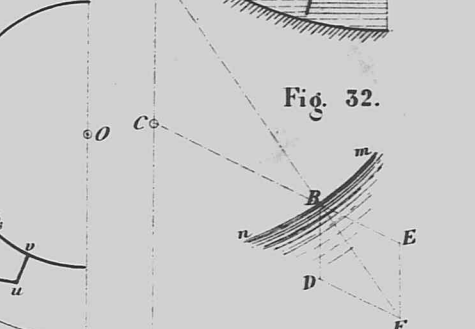
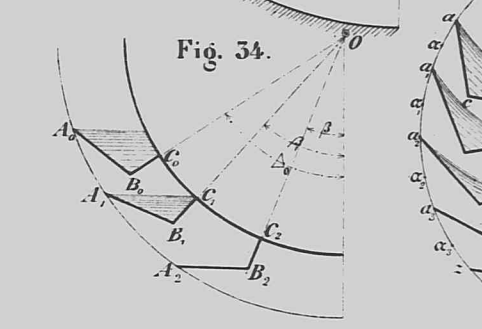
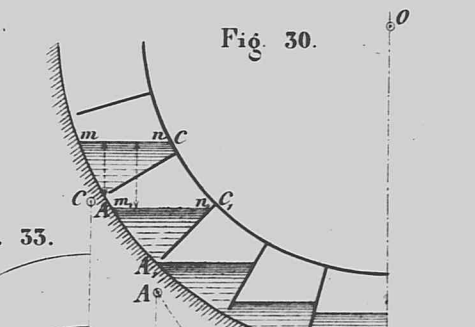
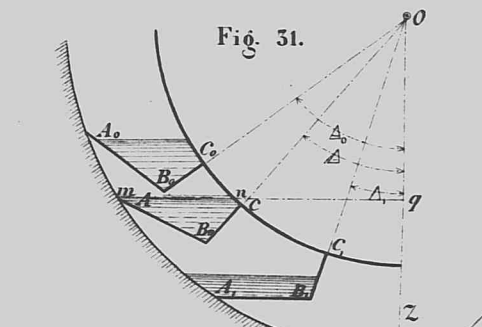
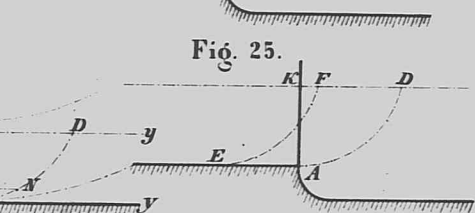
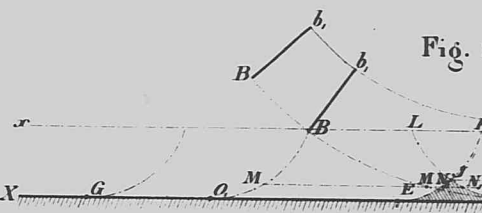
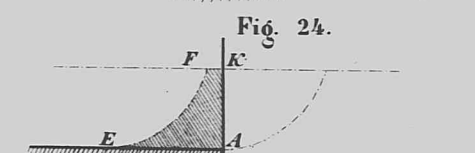
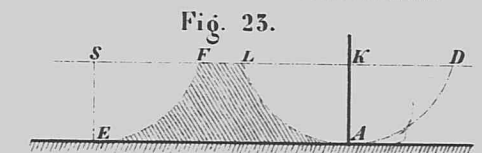
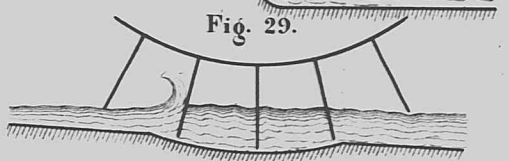
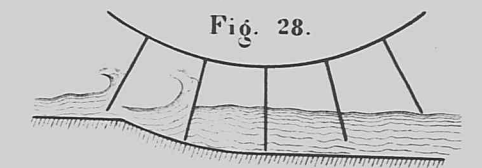
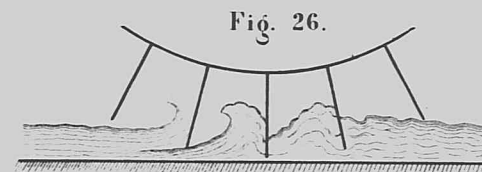
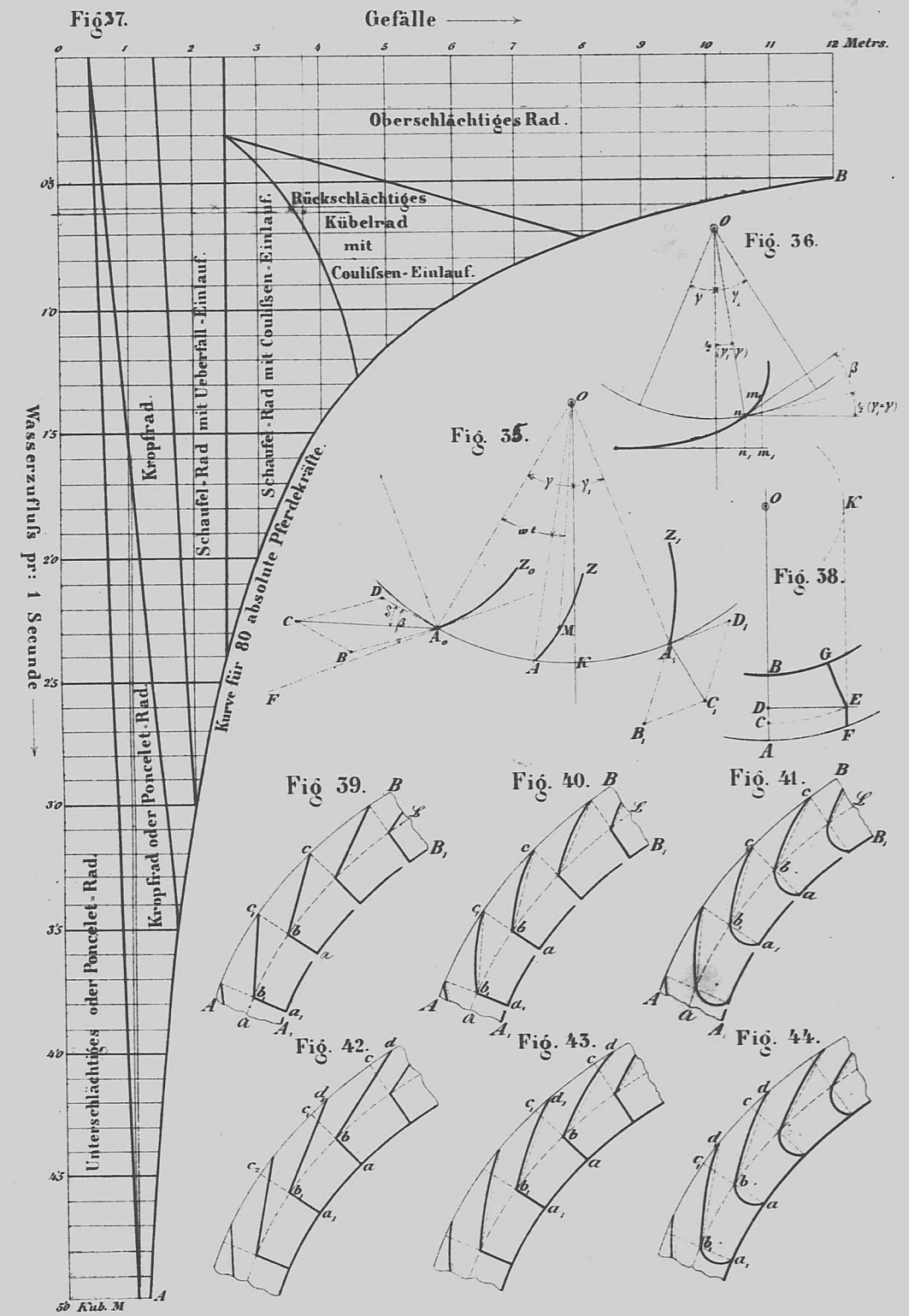
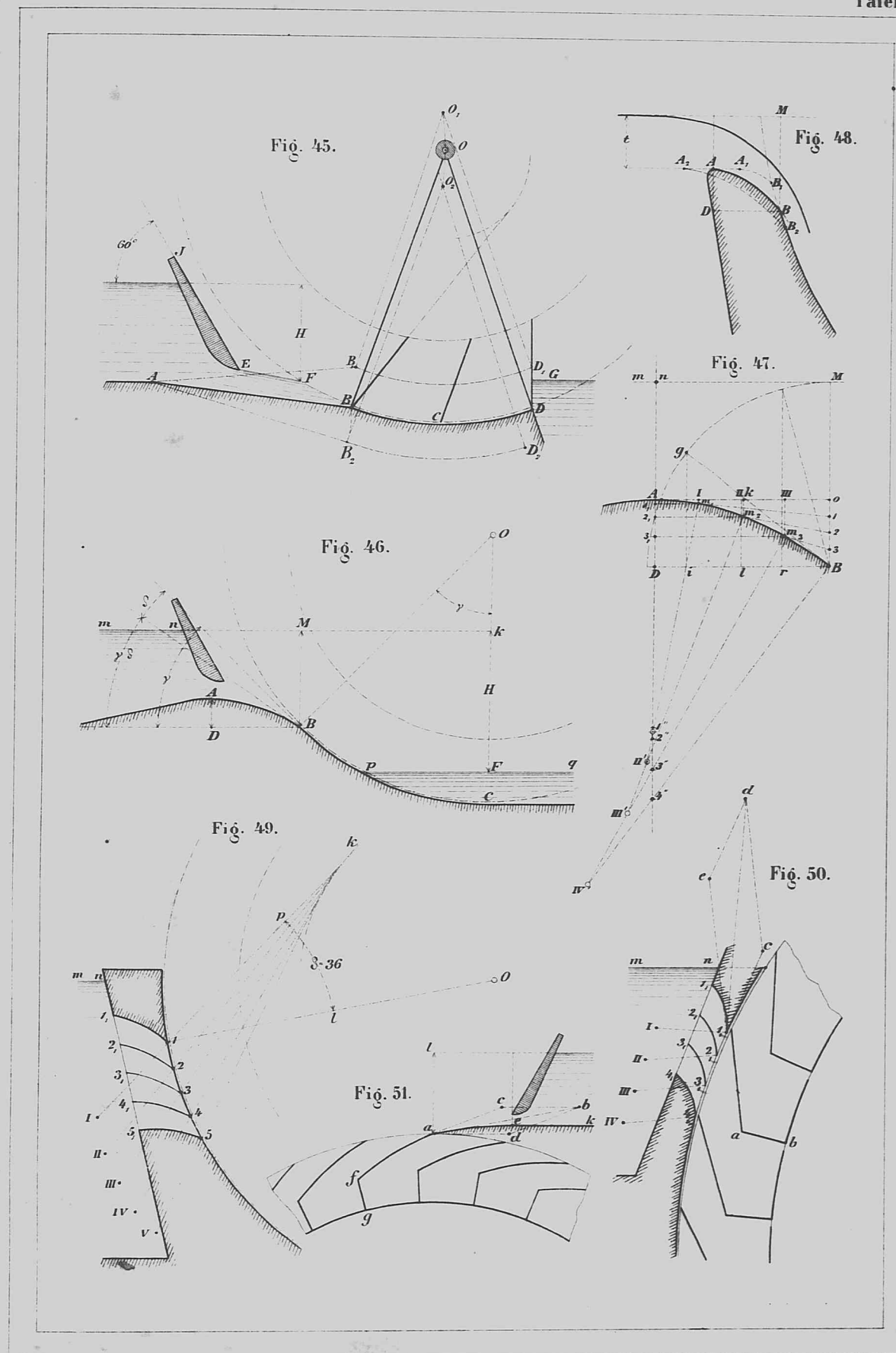
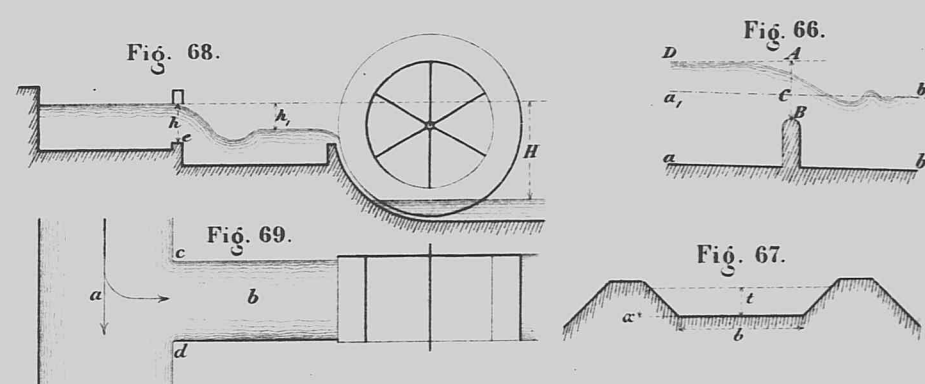
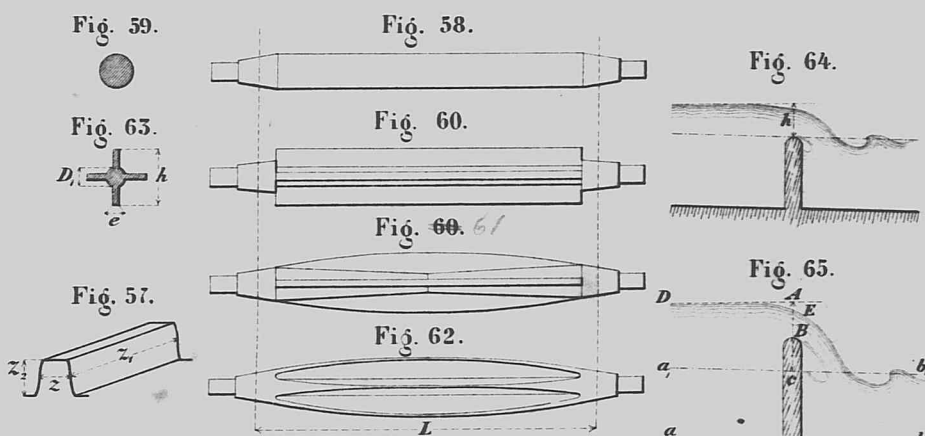
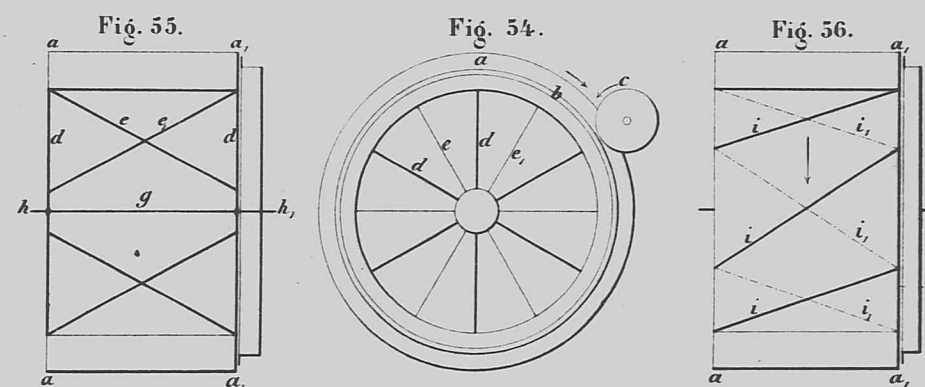
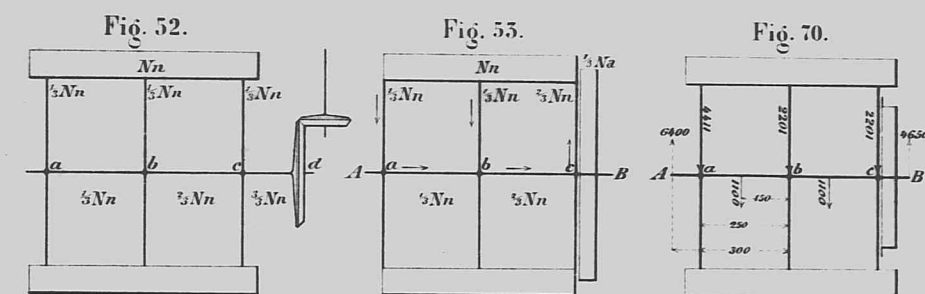


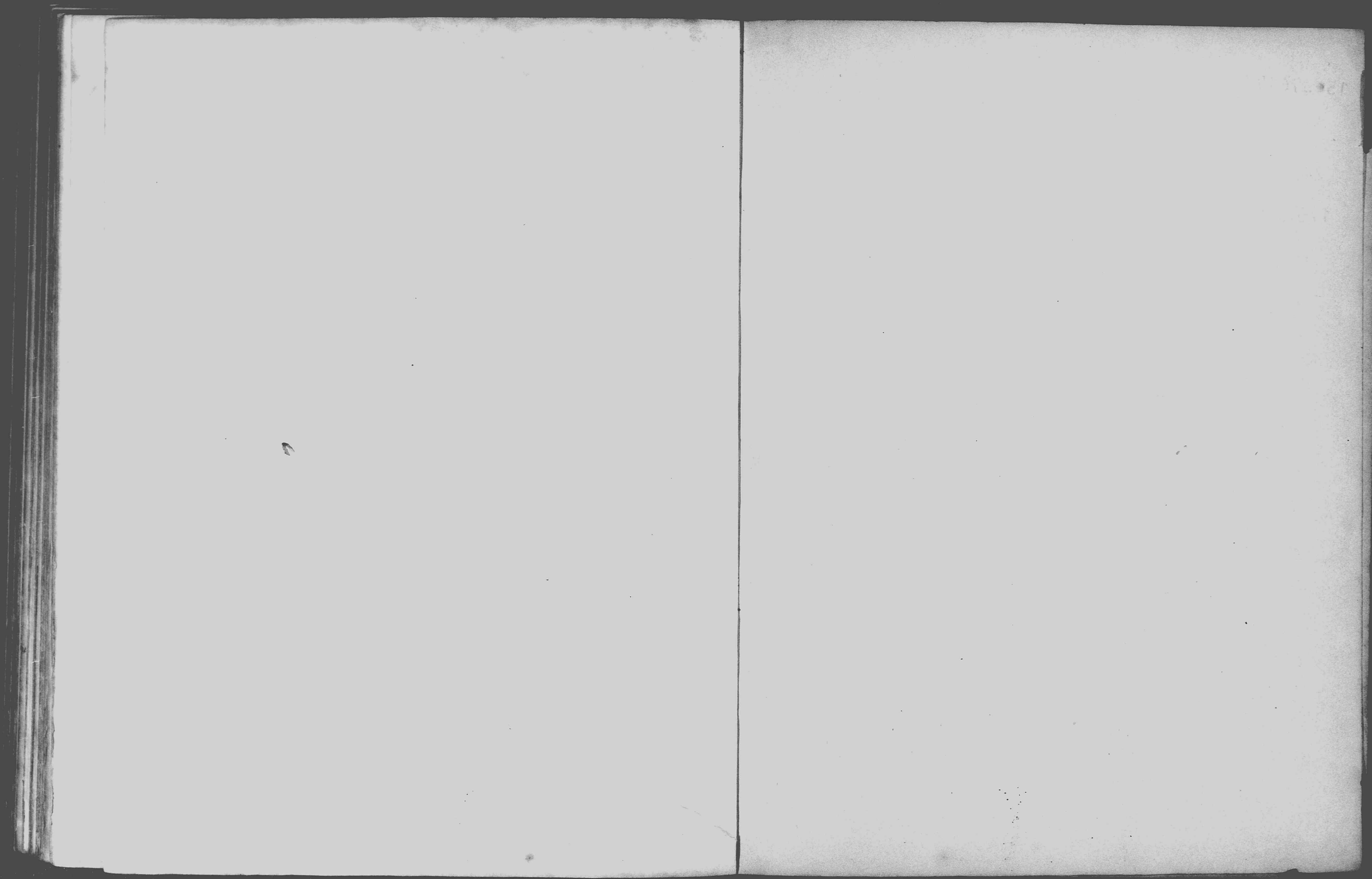
Fig. 33.

Fig. 35.









15 376173

131277128

240081167

170382195



N11< 42667992 090

UB Karlsruhe (03/98)