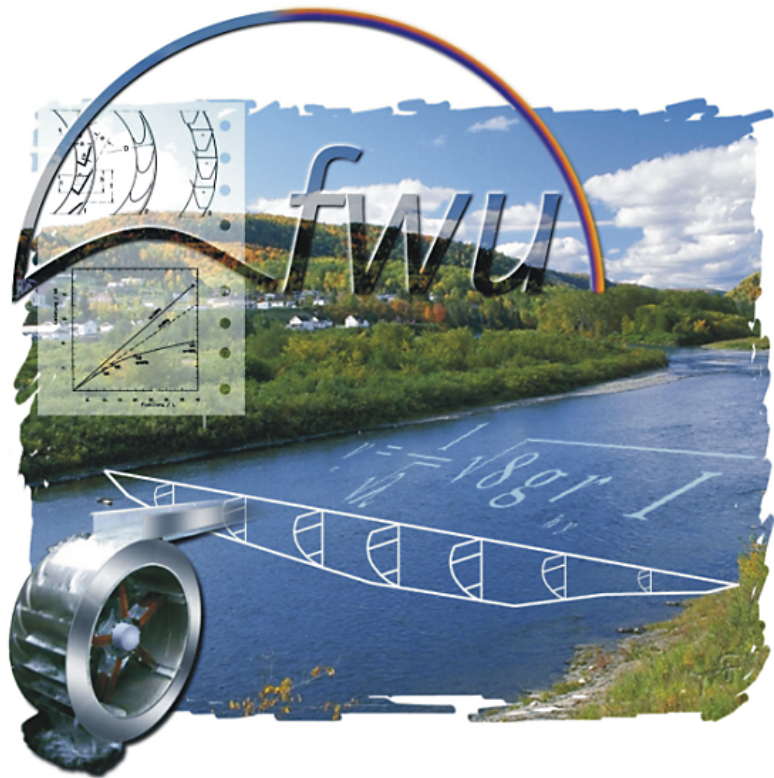


5. fwu-Workshop



Renaissance des Wasserrades

Tagungsband 2002

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
Programm	3
Das Projekt Trafo-Mills	4
Renaissance des Wasserrades	12
Kleinstelektrifizierung im Inselbetrieb	32
Exkursion	46

Weiterführende Literatur

- AWULACHEW: Dissertation, Investigation of Water Resources Aimed at Multi-Objective Development with Respect to Limited Data Situation: The Case of Abaya-Chamo Basin, Ethiopia, Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 19, Technische Universität Dresden, 2001
- BOHL: Strömungsmaschinen 1, 7.Auflage, Vogel Buchverlag, Würzburg, 1998
- BOHL: Strömungsmaschinen 2, 5.Auflage, Vogel Buchverlag, Würzburg, 1995
- BRETSCHNEIDER ET. AL.: Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 7.Auflage, Verlag Paul Parey, 1993
- BRINKMANN: Physikalische Analyse zur Bestimmung von Kriterien für die Auslegung und Optimierung von ober- und unterschlächtigen Wasserrädern, Konferenz-Einzelbericht: Kleinwasserkraftwerke, 2. Anwenderforum, OTTI Technologie-Kolleg, Passau, 1999
- DIN-Taschenbuch 179, Wasserbau 1, 3.Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Köln, 1990
- EPDING: Dissertation, Experimentelle Untersuchungen an Wasserturbinen kleinster Leistungen, Technische Universität Braunschweig, 1983
- GARBRECHT: Wasser – Vorrat, Bedarf und Nutzung in Geschichte und Gegenwart, Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg, 1985
- HAILU: Dissertation, Optimierung von Standorten für Kleinwasserkraftanlagen zur Elektrifizierung ländlicher Gebiete, Technische Universität Dresden, 2001
- MÜLLER: Die Wasserräder – Berechnung, Konstruktion und Wirkungsgrad, Neudruck der 2.Auflage, Verlag Moritz Schäfer GmbH & Co. KG, Detmold, Original von 1939
- PÁLFFY ET. AL.: Wasserkraftanlagen, 2.Auflage, expert verlag, Renningen-Malmsheim, 1991
- RAABE: Hydraulische Maschinen und Anlagen, 2.Auflage, VDI Verlag, Düsseldorf, 1989
- SCHRÖDER ET. AL.: Grundlagen des Wasserbaus, 3. Auflage, Werner Verlag, 1994
- VON KÖNIG: Bau von Wasserkraftanlagen, Verlag C.F. Müller GmbH, Karlsruhe, 1985
- WEIß: Dissertation, Ein Beitrag zur Planung und Projektierung von Kleinwasserkraftanlagen, Technische Hochschule Aachen, 1992
- WÖLFEL: Das Wasserrad: Technik und Kulturgeschichte, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1987

Vorwort

Sehr geehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer,

Der am 20.02.2002 durchgeführte Workshop „Renaissance des Wasserrades“ war bereits die fünfte Veranstaltung dieser Art der Forschungsstelle für Wasserwirtschaft und Umwelt (fwu) an der Universität Siegen seit 1998.

Ziel dieser Veranstaltung war es Interessenten aus Wasserwirtschaftsverwaltungen und-verbänden, Ing.-Büros und Bauunternehmen Gelegenheit zu geben, Nutzen, Anwendungsfälle und Praxiserfahrungen im Bereich von Klein- und Kleinstwasserkraftanlagen mit Wasserrädern kennen zu lernen. Der Workshop gab erfolgreich einen Einblick in die Einsatzmöglichkeiten von Wasserrädern im Bereich der Nutzbarmachung von Wasserkraftpotentialen und konnte zum Erfahrungsaustausch beizutragen. Es wurde u.a. das Projekt Trafo-Mills, ein Programm zur Nutzung von Wasserrädern in Afrika, vorgestellt. Als Ergänzung zu den Vorträgen wurde in der angebotenen Nachmittagsexkursion auch die Struppmühle in Gießen, ein erfolgreiches Beispiel des Einsatzes eines modernen Wasserrades, besucht. Über 30 Teilnehmer, insbesondere Mitarbeiter aus Wasserverbänden, Fachbehörden und Ingenieurbüros sowie Bauunternehmen, nahmen an dem Workshop teil und informierten sich.

Die von den Referenten gehaltenen Vorträge sind in diesem Tagungsband zusammengestellt. Den Referenten danken wir ganz besonders für ihr hervorragende Arbeit.

Siegen, im Februar 2002

Jürgen Jensen

Jörg Wieland

Jan-Eric Kapp

Programm

- 8.45 Uhr Eröffnung
- 9.00 Uhr Das Projekt Trafo-Mills
*Prof. Dr.-Ing. Jensen, Dipl.-Ing. Wieland,
Dipl.-Ing. Kapp, fwu, Universität Siegen*
- 9.15 Uhr Renaissance des Wasserrades, Teil 1
Dipl.-Ing. Günther, BEGA Wasserkraftanlagen GmbH
- 10.45 Uhr Pause
- 11.00 Uhr Kleinstelektifizierung im Inselbetrieb
*Prof. Dr.-Ing. Pacas, Dipl.-Ing. Schulz,
LEA, Universität Siegen*
- 11.15 Uhr Renaissance des Wasserrades, Teil 2
Dipl.-Ing. Günther, BEGA Wasserkraftanlagen GmbH
- 12.45 Uhr Diskussion/Fragen
- 13.00 Uhr Mittagspause

Anschließend Exkursion:

- 14.00 Uhr Busabfahrt nach Gießen
- 15.00 Uhr Besichtigung der Struppmühle Gießen
evtl. mit Kaffeepause
- 17.00 Uhr Rückfahrt nach Siegen
- 18.00 Uhr Ende der Exkursion



„Entwicklung eines Konzeptes zur Nutzung von Wassermühlen in Entwicklungsländern (TRAFO-MILLS)“

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen
Dipl.-Ing. (FH) Jan-Eric Kapp
Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wieland

Universität Siegen
Forschungsstelle Wasserwirtschaft und Umwelt (fwu)
Paul-Bonatz-Straße 9-11
57076 Siegen

finanziert durch:



Ministerium für **Schule,**
Wissenschaft und **Forschung**
des Landes
Nordrhein-Westfalen

Das Projekt Trafo-Mills

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen
Projektbearbeitung: Dipl.-Ing. (FH) Jan-Eric Kapp
Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wieland



Trafo-Mills

Entwicklung und Implementierung eines Konzeptes zur Nutzung von Wassermühlen zur Kleinstelektrifizierung sowie für den Betrieb von Ölpresen und Getreidemühlen in ländlichen Siedlungsräumen in Entwicklungsländern, z.B. in Äthiopien

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen
Projektbearbeitung: Dipl.-Ing. (FH) Jan-Eric Kapp
Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wieland

Forschungsstelle Wasserwirtschaft und Umwelt (fwu), Universität Siegen,
Februar 2002



Projektziel

Ziel des Forschungsvorhabens ist es:

- auf der Grundlage bewährter Technologien, die als angepasste Technologien in Entwicklungsländern in Betracht kommen,
- unter Berücksichtigung sozio-demographischer und ökonomischer Gegebenheiten,
- auf der Basis bereits identifizierter potentieller Standorte für Wasserkraftanlagen,
- unter Einbeziehung von lokalem Know-How und
- durch Implementierung und Monitoring von Pilot-Anlagen

Grundlagen für einen Standard zu schaffen, auf dessen Basis in Zukunft nach einem „Baukastenprinzip“ kleine Wasserkraftanlagen kostengünstig implementiert werden können.



Kooperationspartner

- Universität Siegen
 - Forschungsstelle Wasserwirtschaft und Umwelt (fwu)
- Institut für Leistungselektronik und Elektrische Antriebe (LEA)
- ProAqua Ingenieurgesellschaft für Wasser- und Umwelttechnik mbH





- Bega Wasserkraftanlagen GmbH



- Arba Minch Water Technology Institute (AWTI)

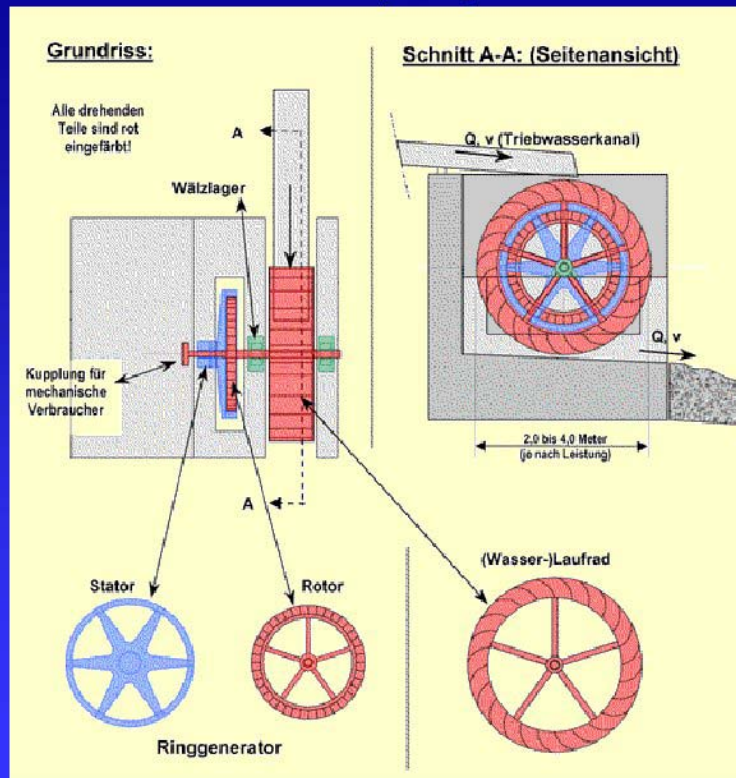


Zeitplan			
  	• Projektbeginn	Sep 2001	Sep 01 Okt 01 Nov 01 Dez 01
	• Abgabe 1. Zwischenbericht	Jan 2002	Jan 02
	• Aktuell: Standortanalyse in Äthiopien (AWTI) Aufenthalt in Arba Minch (Dr. Beyenne – ProAqua)	Feb 2002	Feb 02 Mrz 02 Apr 02 Mai 02 Jun 02 Jul 02
	• World Renewable Energy Congress VII in Köln	Juli 2002	Aug 02
	• 5. Anwenderforum Kleinwasserkraftanlagen in Innsbruck	Sep 2002	Sep 02 Okt 02 Nov 02 Dez 02
	• Abgabe 2. Zwischenbericht	Jan 2003	Jan 03 Feb 03 Mrz 03 Apr 03 Mai 03 Jun 03 Jul 03
			Aug 03 Sep 03 Okt 03 Nov 03
	• Projektende	Dez 2003	Dez 03

Mögliche Varianten des Wasserrades		
 	„Hightech-Variante“ • mit Ringgenerator	<u>ABBILDUNG</u>
	Vorteile <ul style="list-style-type: none"> • wenig empfindlich gegen Sandschliff und Verschmutzung • minimale Zahl von Kugel- bzw. Wälzlagern • bewegliche Teile sitzen auf Hauptwelle, daher geringer Verschleiß • Triebwasser kann oberirdisch im offenen Gerinne zugeführt werden • geringe Drehzahlen, daher geringe Anforderungen an Maßhaltigkeit des Treibrades • geringe dynamische Beanspruchung der wasserführenden Teile, daher große Lebensdauer des Treibrades • hoher Wirkungsgrad bei vergleichsweise geringen Fallhöhen 	
	„Lowtech-Variante“ • ohne Ringgenerator	<u>ABBILDUNG</u>
	Vorteile <ul style="list-style-type: none"> • allgemeine Vorteile des Wasserrades bleiben erhalten (s.o.) • 50 % Wirkungsgrad ist besser als gar kein Wirkungsgrad • geringere Kosten erhöhen Chance auf Privatisierung (in Äthiopien), da das Wasserrad in Konkurrenz zum Dieselmotor steht 	



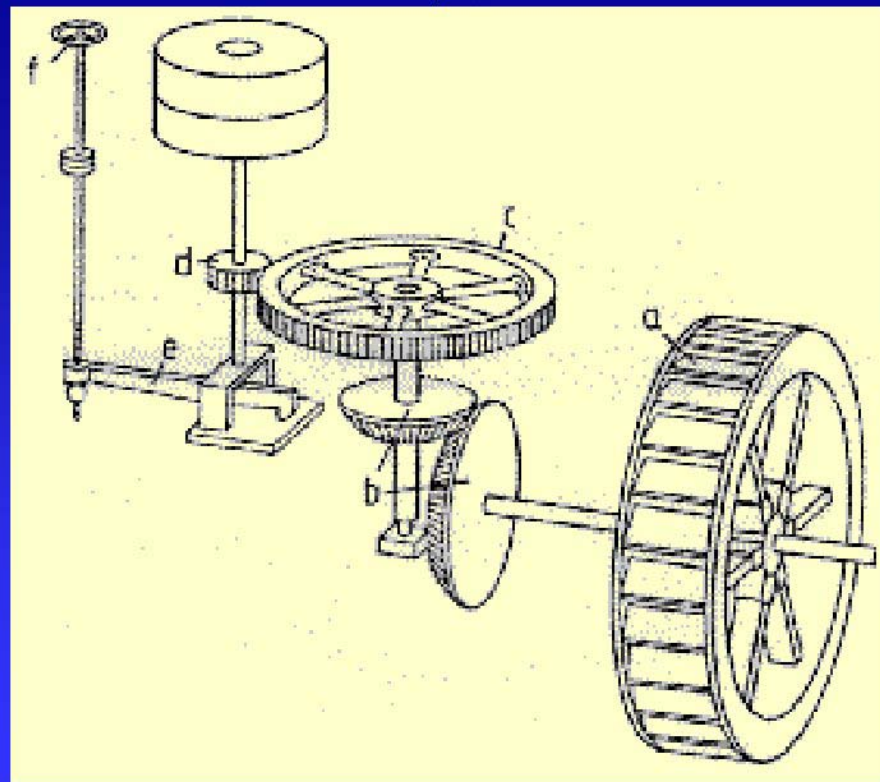
Technisches Konzept „Hightech-Variante“



Prinzipskizze eines getriebelosen Wasserrades mit Ringgenerator



Technisches Konzept „Lowtech-Variante“



Prinzipskizze eines Wasserrades mit mehreren Übersetzungen



Äthiopien



Karte von Äthiopien mit Ortslage Arba Minch (Quelle: CIA)



Äthiopien





Sehr bergiges Land mit
 hohen Niederschlägen




Standort in Äthiopien

Mögliche Projektstandorte in der Nähe von Arba Minch





fwu
FORSCHUNGSSTELLE
WASSERWIRTSCHAFT
UND UMWELT

UNIVERSITÄT
SIEGEN




Energieproblematik in Äthiopien

Starke Abholzung der Wälder führt zu Erosionsproblemen



fwu
FORSCHUNGSSTELLE
WASSERWIRTSCHAFT
UND UMWELT

UNIVERSITÄT
SIEGEN





Bewässerung



Auch Bewässerung mit
einem Wasserrad ist
möglich



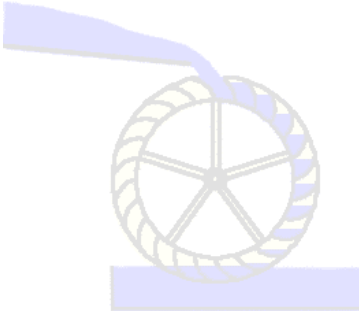
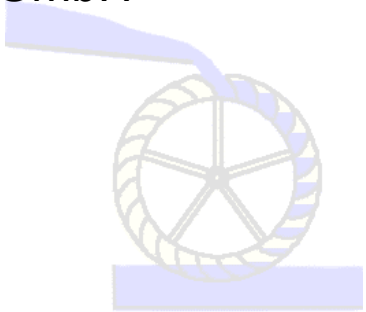


„Renaissance des Wasserrades“



Dip.-Ing. Thomas Günther

BEGA Wasserkraftanlagen GmbH
Herderallee 30
44791 Bochum



Renaissance des Wasserrades

Dipl.-Ing. Thomas Günther, BEGA

Das Wasserrad war über Jahrhunderte hinweg die wichtigste Arbeitsmaschine der Menschheit. Allein in Deutschland waren über 100 000 Wasserräder an Getreidemühlen, Sägewerken, Hämmern und in mehr als hundert weiteren Handwerksbetrieben im Einsatz.

Mit dem Aufkommen der Turbinen und der elektrischen Generatoren tat die Wasserkraft den Schritt von der direkten mechanischen Nutzung zur anteiligen Energieversorgung in länderübergreifenden Verbundnetzen. Mit der Turbine konnten Wasserkraftpotentiale erschlossen werden, die aufgrund der Wassermengen und Fallhöhen dem Wasserrad nicht zugeführt werden konnten. Man denke an die großen Laufwasserkraftwerke an den Flüssen, die Mitteldruckanlagen an Talsperren oder die Hochdruckanlagen im Gebirge.

Mit dem Ende des 20. Jahrhunderts stößt der Ausbau der Wasserkraft im Mega-Watt Bereich nunmehr an seine natürlichen Grenzen. Die vorhandenen Potentiale sind zumindest in Deutschland weitestgehend erschlossen oder Ihr weiterer Ausbau findet keine gesellschaftliche Akzeptanz.

Auffällig ist, dass die Zahl der Wasserkraftanlagen sich im Laufe des vergangenen Jahrhunderts um den Faktor 10 verringert hat. Nur rund 8 000 Turbinenanlagen decken heute ca. 5% des deutschen Strombedarfs. Vergleicht man diese Zahl mit den einst 100 000 Wassermühlen so wird deutlich, dass die meisten ehemaligen Wasserkraftstandorte nicht auf Turbinenanlagen umgerüstet wurden, sondern brachgefallen sind. So hatte beispielsweise die für Ihre Messer und Klingen bekannte Stadt Solingen früher über 120 Schleifkotten, heute kann man die Zahl der Wasserkraftanlagen an einer Hand abzählen.

Die Gründe hierfür liegen überwiegend im politisch-rechtlichen Bereich. Die Umrüstung eines Standortes von mechanischer Nutzung auf Stromerzeugung wurde in der Vergangenheit vielfach als durch ein vorhandenes Altrecht nicht abgedeckt angesehen. Eine auf Entzug alter Wasserrechte ausgerichtete Gewässerpolitik im Verbund mit einer auf Versorgung durch Großkraftwerke abzielenden Energiepolitik blockierten die Umrüstung alter Wassermühlen zu privaten Kleinstkraftwerken im Netzparallelbetrieb. Während auf der Energieseite dank des Stromeinspeisegesetzes eine Neuorientierung erfolgte ist auf der Seite der Wasserwirtschaftsämter eine Lockerung restriktiver Gesetzesauslegung noch eher die Ausnahme.

Daneben gab es aber auch technische Schwierigkeiten bei der Umrüstung speziell von Wasserrädern auf Stromerzeugung. Die niedrige Drehzahl des Wasserrades bei extrem hohen Drehmomenten muss auf übliche Generator Drehzahlen transferiert werden, d.h. eine Übersetzung von etwa 1:100 ins Schnelle ist erforderlich. Dies war mit Riementrieben allein nicht zu bewältigen. In der Eingangsstufe waren große Zahnradgetriebe erforderlich, insgesamt musste die Drehzahl über mindestens drei Stufen hochtransformiert werden. Hier hatte die Turbine durch die vergleichsweise hohe Drehzahl bei entsprechend niedrigerem Drehmoment zunächst bauartbedingte Vorteile.

Aber auch das Wasserrad kann seinerseits gegenüber der Turbine Vorteile verbuchen: So ist es äußerst robust und weitgehend unempfindlich gegenüber Gewässerverunreinigung. Insbesondere die Bauart des oberschlächtigen Wasserrades bedarf nicht einmal eines Rechens, auch entfällt die aktive

5. fwu-Workshop

Dipl.-Ing. Günther, BEGA

Wasserstandsregulierung. Der Wirkungsgrad insbesondere im Teillastbereich ist unübertroffen hoch sofern man Wasserrad und Turbine gleicher Leistung miteinander vergleicht und nicht wie leider oft geschehen ein 5 kW Wasserrad einer 500 kW Turbine gegenüberstellt. Auch die Öko-Bilanz spricht eindeutig für das Wasserrad. Aufgrund seiner niedrigen Drehzahl ist eine Verletzungsgefahr für Fische ausgeschlossen, die biologische Durchgängigkeit der Gewässer bleibt in der Regel gewahrt.

Bleibt die Frage warum die Turbine nach wie vor den Regelfall im Wasserkraftanlagenbau darstellt und das Wasserrad eher als Nischenprodukt anzusehen ist. Für die Vergangenheit ist die Antwort sicher in der mangelnden wirtschaftlichen Attraktivität des Kleinstleistungsbereich zu suchen. Technisch hat das Wasserrad inzwischen deutlich aufgeholt. Mit modernen Planetengetrieben sind die Drehmomente eines Wasserrades beherrschbar, eine Übersetzung von 1:100 bei Wirkungsgraden von über 90% kein technisches Problem mehr. Auch die Fertigungstechnik ist nicht bei Zimmermannsarbeit stehen geblieben. Nichtrostendes Metall wie Edelstahl oder seewasserfeste Aluminiumlegierungen sind ebenso Standard wie CNC-gesteuerte Blechbearbeitung.

Hinsichtlich der Marktanteile von Turbine und Wasserrad werden derzeit die Karten neu gemischt, nachdem die "Filetstücke" der Wasserkraftstandorte längst vergeben sind und sich die Aufmerksamkeit nun dem noch verbleibenden Potential zuwendet. Dies sind insbesondere die alten Mühlenstandorte mit Einzelleistungen von oft nur 10 kW und darunter. Hier hat das Wasserrad seinen angestammten Platz und es spricht alles dafür das es ihn sich im 21. Jahrhundert zurückerobert wird.

Dipl. Ing. Thomas Günther

Geschäftsführer

Bega Wasserkraftanlagen GmbH

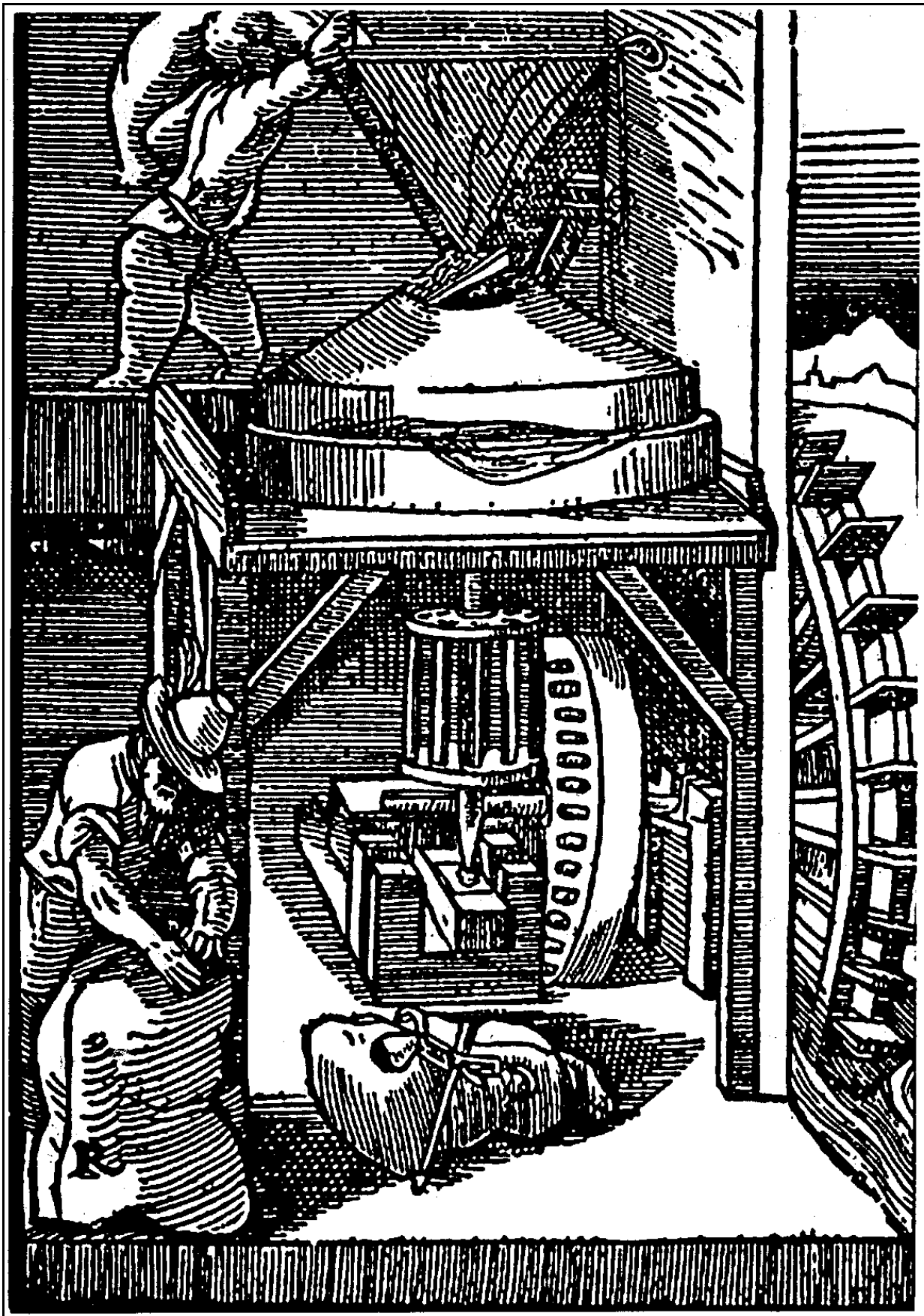
Herderallee 30

44791 Bochum

tel. 0234 - 584 270

fax 0234 - 584 370

weitere Informationen: <http://www.bega-wasserkraft.de/>



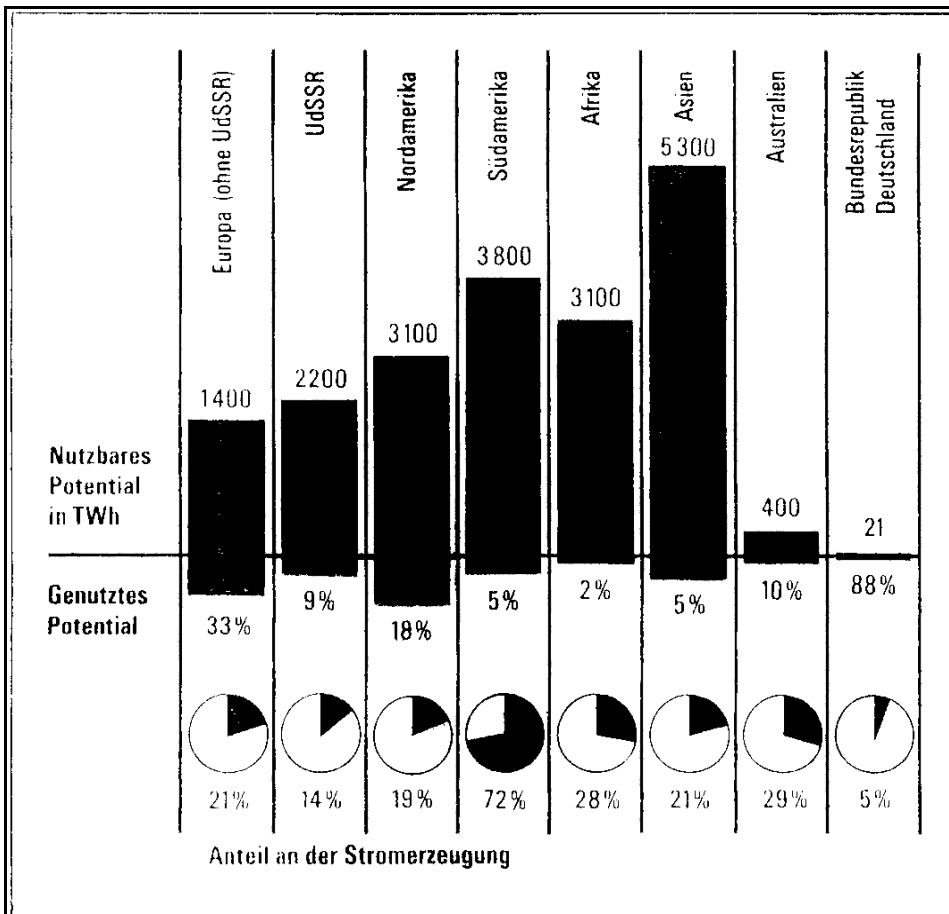


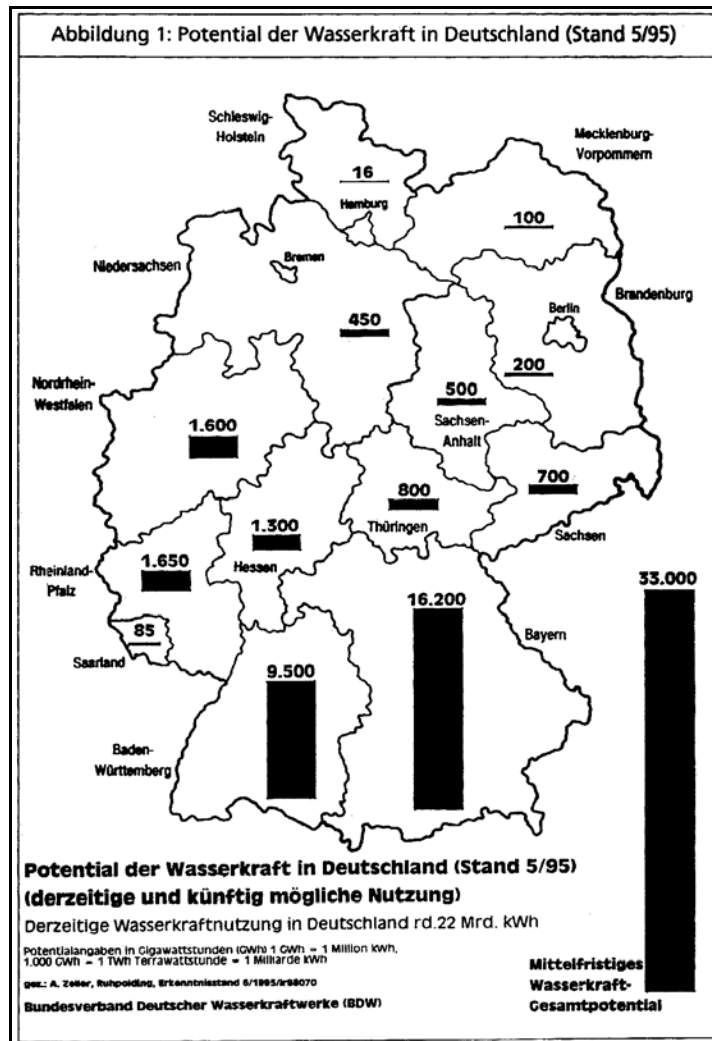
Abb. 9: Anteil der Wasserkraftnutzung an der Stromerzeugung (unten) sowie technisch nutzbares Potential in Terawattstunden (TWh), und bisher genutzter Anteil des technischen Potentials der Wasserkraft (58).

IWR Wasser Aktuelle Niederschlagsdaten und Wasserkraftpotentiale
Stromerzeugung aus Wasserkraft in Europa

Land	Gesamtstromproduktion [Mio kWh]		Strom aus Wasserkraft [Mio kWh]		Anteil Wasserkraft [%]	
	1996	1997	1996	1997	1996	1997
Norwegen	103.800	110.600	103.507	110.485	99,7	99,9
Österreich	53.100	55.000	36.053	37.216	67,9	67,7
Schweiz	55.100	60.600	30.238	34.890	54,9	57,6
Schweden	136.000	144.900	51.172	68.617	37,6	47,4
Italien	230.600	240.000	47.683	46.520	20,7	19,4
Frankreich	489.800	478.400	69.780	67.454	14,2	14,1
Deutschland	510.600	507.400	22.097	20.934	4,3	4,1
Tschech. Rep.	59.900	60.000	2.326	2.326	3,9	3,9
Belgien & Luxemburg	73.500	76.200	2.326	2.326	3,2	3,1
Polen	133.400	132.600	3.489	3.489	2,6	2,6
Vereinigte Königreich	318.700	332.900	4.652	5.815	1,5	1,7
Dänemark	50.400	41.800	0	0	0,0	0,0
Niederlande	81.500	82.800	0	0	0,0	0,0
Gesamt	2.296.400	2.323.200	373.323	-	16,3	17,2

Zahlen aus: ERDMANN, Georg: "Wettbewerb als Chance für "grünen Strom"; in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 6, 1999

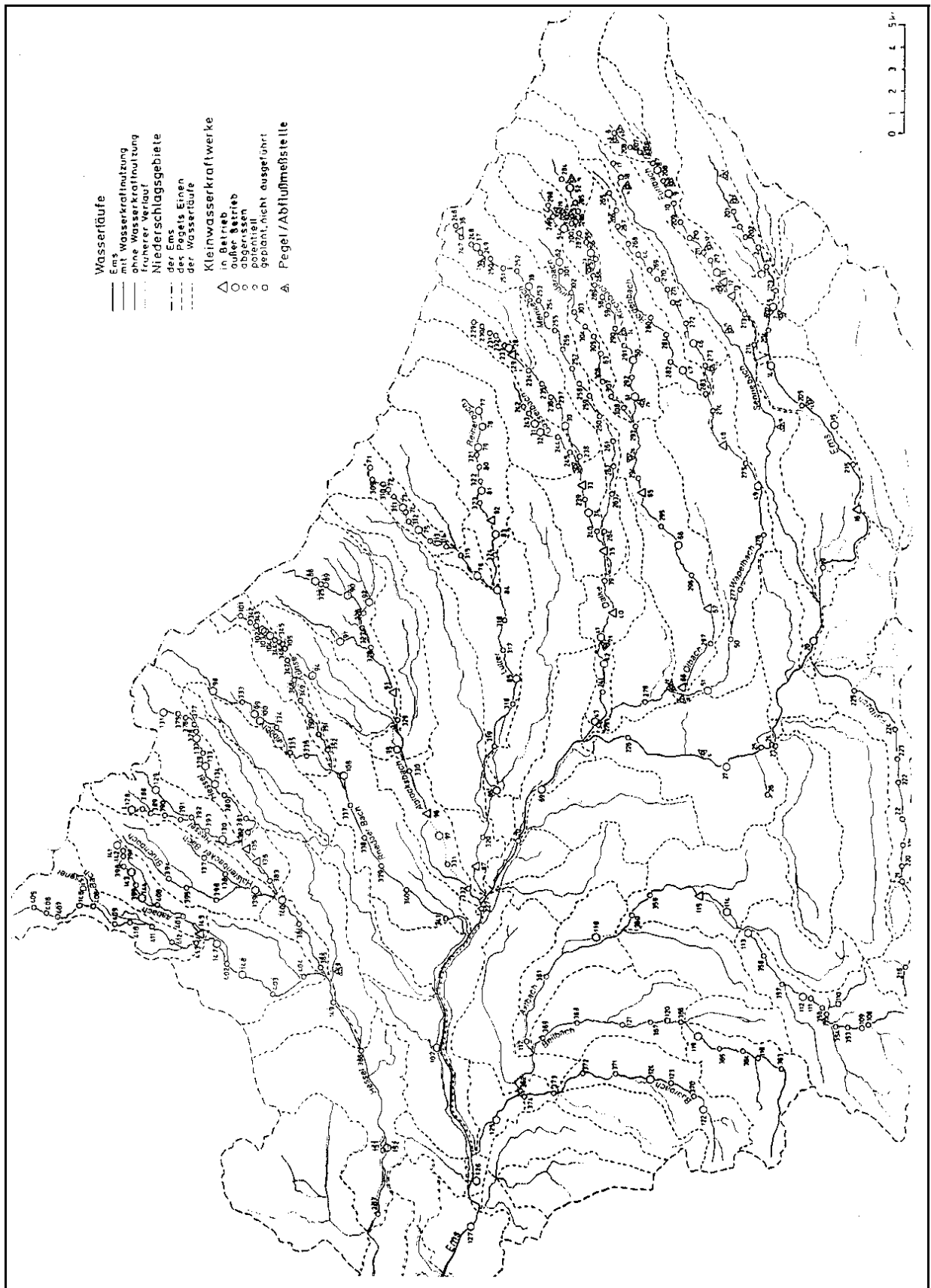
<http://www.iwr.de/wasser/klima/potentialeuropa.html>



IWR Wasser Aktuelle Niederschlagsdaten und Wasserkraftpotentiale
Wasserkraftpotentiale in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1994 und 1998

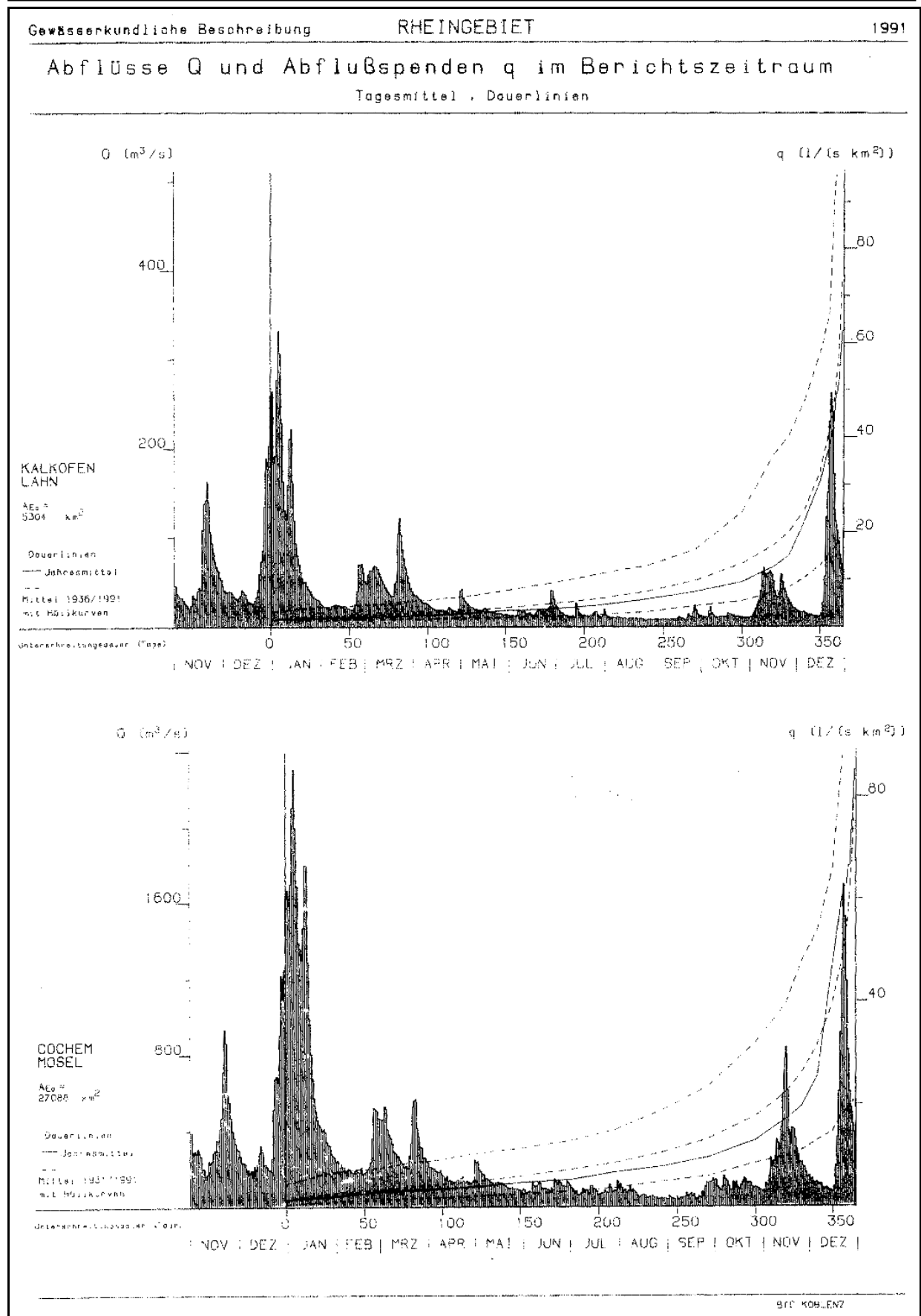
Bundesland	technisches Potential	genutztes Potential in 1994	genutztes Potential in 1998
	GWh/a	GWh/a	GWh/a
Baden-Württemberg	6294	4470	4097
Bayern	13614	10490	12202
Brandenburg/Berlin	101	10	4
Hessen	815	300	289
Mecklenburg-Vorpommern	45	10	2
Niedersachsen	350	240	257
Nordrhein-Westfalen	700	520	377
Rheinland-Pfalz	1500	1070	975
Saarland	169	70	166
Sachsen	320	110	76
Sachsen-Anhalt	362	20	26
Thüringen	414	180	37
Schleswig-Holstein	ca. 5	10	5
Bundesrepublik Deutschland gesamt	ca. 24689	ca. 17500	ca. 18513

verändert nach:
Giesecke, J. und Mosonyi, E. (1997), Wasserkraftanlagen: Planung, Bau und Betrieb, Springer Verlag;
Giesecke, J. und Heimerl, S. (1999), Wasserkraftanteil an der elektrischen Stromerzeugung in Deutschland, Wasserwirtschaft
<http://www.iwr.de/wasser/klima/potentialedeutschland.html>




5. fwu-Workshop
Dipl.-Ing. Günther, BEGA

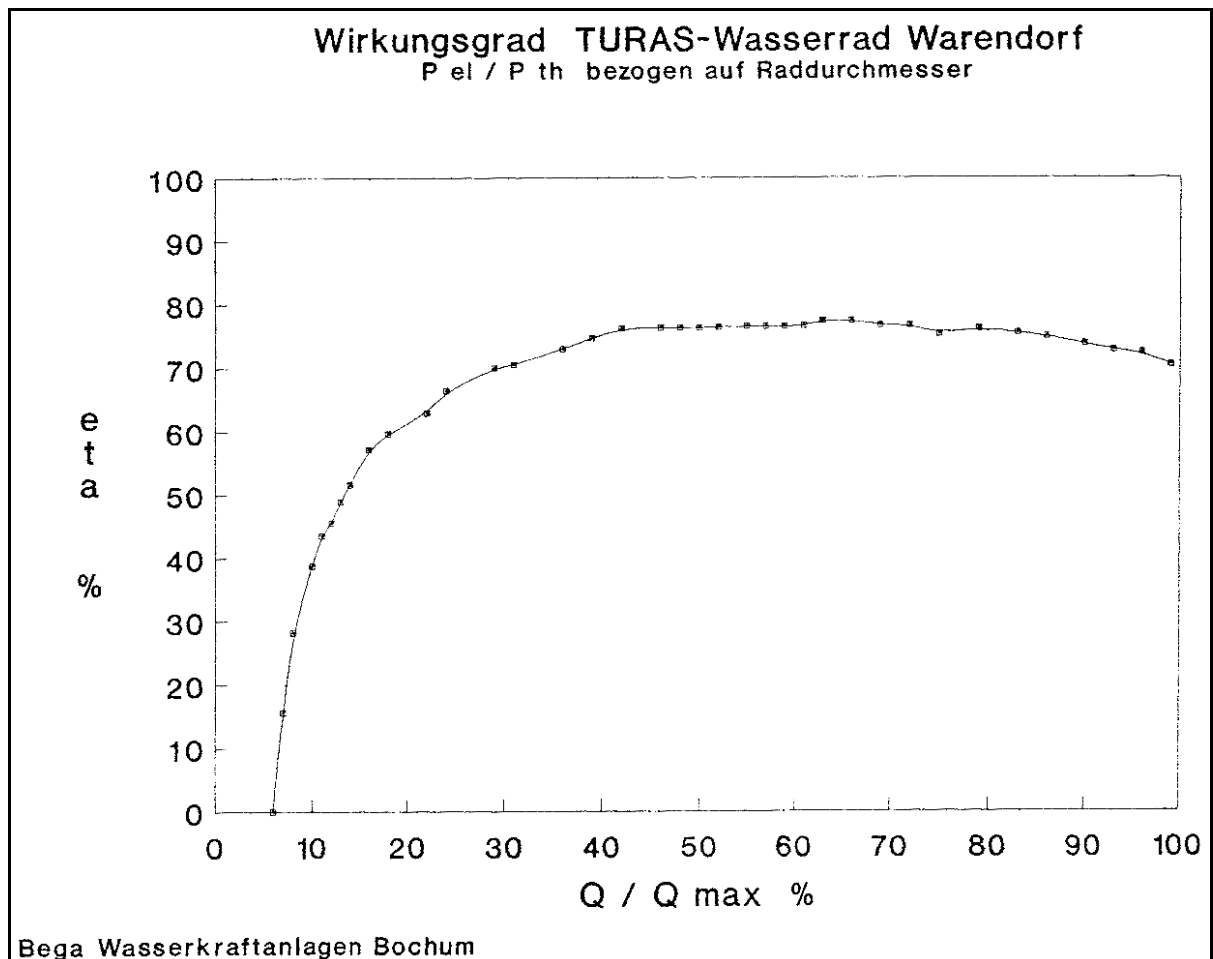
Stück der Wasserkraftmaschinen Deutschlands									
nach der amtlichen gewerblichen und landwirtschaftlichen Betriebszählung vom Juni 1925, geordnet nach der Größe des Anteils der Wasserkraftleistung an der Leistung sämtlicher Primärkraftmaschinen im betreffenden Wirtschaftszweige									
Wirtschaftszweige	Leistung sämtlicher Primärkraftmaschinen (Wärme-, Wasser- und Windkraftmaschinen) in dem betr. Wirtschaftszweige PS	Anzahl der mit Wasserrädern arbeitenden Betriebe		Ausbauleistung der Wasserräder PS	Anzahl der mit Wasserturbinen arbeitenden Betriebe		Ausbauleistung der Wasserturbinen PS	Gesamte Ausbauleistung von Wasserrädern und Wasserturbinen (Spalte 5 und 8 zusammen) PS	Wasserkraftleistung in Prozenten der gesamten Primärkraftmaschinenleistung in dem betr. Wirtschaftszweige %
		Stückzahl	Stückzahl		Stückzahl	Stückzahl			
1 Holzschleifereien, Papierindustrie und Vertrieblüftungsgewerbe	881 410	173	228	3 895	863	1 730	197 466	201 361	22,8
2 Kühlenindustrie und Nahrungsmittelgewerbe	1 497 765	16 540	19 312	146 818	6 369	7 646	165 595	312 413	20,6
3 Erdbau- und landwirtschaftliche Betriebe	616 998	9 194	9 902	79 216	3 019	3 178	26 499	105 715	19,7
4 Elektricitätsgewinnung, Gas- und Wasserwerke	6 776 934	231	264	3 863	1 312	2 180	937 827	941 690	13,9
5 Sägewerke und Schnitzstollgewerbe	591 459	3 436	3 749	30 677	1 742	2 065	46 200	76 877	13,0
6 Gewinnung von Eisen und anderen Metallen	1 518 882	235	422	3 610	222	399	179 675	183 485	12,1
7 Herstellung von Eisen-, Stahl- und Metall-Waren	211 263	769	1 029	7 017	470	606	17 970	24 987	11,8
8 Gast- und Schankwirtschaftsgewerbe	11 182	43	46	330	70	73	824	1 154	10,3
9 Textilindustrie	1 219 528	265	291	3 105	735	1 169	114 104	117 209	9,6
10 Baugewerbe	310 507	108	121	848	70	89	23 225	24 073	7,8
11 Musikinstrumenten- und Spielwarenindustrie	20 195	79	88	574	41	47	823	1 397	7,0
12 Stickstoff-, Kautschuk- und andere chemische Industrien	1 119 113	133	246	2 312	122	183	58 567	60 879	5,4
13 Veredlungswesen	367 360	5	8	258	23	42	18 859	19 117	5,2
14 Elektrische Industrie, Feinmechanik und Optik	200 870	78	85	771	101	143	7 467	8 238	4,1
15 Nichtlandwirtschaftliche Gärtnerei und Tierzucht	1 028	2	2	14	8	8	27	41	4,0
16 Industrie der Steine und Erden	627 230	677	695	6 916	301	406	13 883	20 799	3,3
17 Kautschukindustrie	50 526	4	7	195	7	11	1 398	1 593	3,2
18 Leder- und Linoleumindustrie	119 072	122	123	834	67	78	2 619	3 453	2,9
19 Gewerblicher Unterricht	628	1	1	6	1	1	10	16	2,6
20 Maschinen-, Apparate- und Fabrikzeugbau	603 905	323	377	2 882	280	364	13 079	15 961	2,3
21 Gesundheitswesen	73 458	28	28	253	58	79	1 426	1 679	2,3
22 Bekleidungs-gewerbe	59 280	20	20	131	43	47	1 156	1 287	2,2
23 Handelsgewerbe	161 786	88	96	780	75	91	2 361	3 141	1,9
24 Mit Eisen- und Metallgewerbe kombinierte Werke	1 067 194	27	43	955	75	131	9 104	10 059	0,9
25 Theater-, Musik- usw. Gewerbe	8 661	1	1	11	2	2	22	33	0,4
26 Bergbau	3 594 353	23	70	623	47	109	10 129	10 752	0,3
27 Mit Bergbau komb. Werke	672 497	1	6	25	3	13	1 990	2 015	0,3
28 Wirtschaftszweige ohne Wasserkraftmaschinen	5 221								
Summen für das Reich	22 468 325	32 606	37 260	297 119	16 126	20 890	1 852 305	2 149 424	9,6



5. fwu-Workshop
Dipl.-Ing. Günther, BEGA

Abflüsse		Rheingebiet, Teil I												1995			
A _{Eo} :		1118 km ²												Pegel : Horb		Nr. 411	
PNP: NN +		380.73 m												Gewässer: Neckar			
Lage:		287.0 km oberhalb der Mündung rechts												Gebiet : Neckar			
				m ³ /s													
Tageswerte	Tag	1994		1995													
		Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez		
	1.	7.09	5.76	36.0	43.2	25.6	33.9	18.6	37.4	7.19	6.33	10.4	6.56	5.34	15.4		
	2.	6.94	5.76	25.1	35.4	23.2	50.7	14.2	42.3	7.07	6.26	8.20	6.46	9.34	13.1		
	3.	6.23	5.80	19.7	29.7	22.2	39.4	12.5	25.2	14.0	6.43	7.25	6.32	10.1	11.3		
	4.	5.81	6.96	16.5	25.9	21.6	30.3	11.5	19.8	19.4	5.38	7.74	6.57	16.8	10.8		
	5.	5.51	21.3	14.8	23.5	19.3	25.6	10.9	16.8	9.84	6.37	7.39	6.83	10.8	9.87		
	6.	5.48	25.0	12.7	21.6	20.0	23.3	10.2	15.3	8.22	6.61	6.77	6.01	7.92	9.13		
	7.	5.33	15.0	12.0	19.8	21.2	21.1	9.88	12.9	7.33	11.3	6.18	6.90	7.11	8.37		
	8.	5.86	11.9	11.2	18.8	19.2	19.7	9.99	12.4	6.80	13.5	6.33	5.84	6.59	7.93		
	9.	5.49	12.6	10.2	22.4	17.7	18.5	11.3	12.0	6.50	9.00	8.40	5.89	6.29	7.41		
	10.	6.12	33.9	11.5	26.4	17.2	17.2	10.1	11.2	6.70	7.23	9.77	5.69	5.68	7.08		
	11.	6.48	22.5	39.3	21.9	16.5	16.9	9.31	10.7	7.13	6.67	8.79	5.83	5.38	6.76		
	12.	6.46	16.2	37.2	22.3	15.8	15.7	8.91	11.8	6.35	6.51	8.69	5.60	5.24	6.57		
	13.	6.26	13.2	23.1	21.5	15.3	15.0	10.9	24.8	9.53	6.92	17.9	5.48	4.79	6.41		
	14.	5.80	12.7	18.7	24.4	14.3	14.0	31.4	23.8	8.05	12.6	33.3	5.45	4.80	6.72		
	15.	5.88	12.6	16.7	23.4	14.2	13.6	20.0	17.8	7.10	11.6	17.6	5.46	4.69	6.24		
	16.	6.03	10.6	14.8	67.3	13.6	14.3	13.9	14.5	11.2	8.34	12.7	5.42	13.0	5.94		
	17.	5.96	9.55	13.2	55.9	13.8	13.3	22.6	13.4	11.5	6.94	11.2	5.38	67.6	5.89		
	18.	6.07	13.0	40.8	32.2	16.0	26.0	12.2	12.3	6.31	6.85	9.41	5.18	52.4	6.34		
	19.	9.01	9.04	13.6	32.4	11.4	17.5	34.2	11.5	7.22	5.93	7.91	5.19	24.2	6.77		
	20.	7.90	8.87	13.8	27.6	95.1	17.6	20.1	10.5	6.56	7.14	10.6	4.91	17.5	5.43		
	21.	7.27	8.41	15.6	24.8	51.0	15.3	15.8	10.6	5.98	7.96	11.3	4.95	15.6	21.9		
	22.	6.92	8.29	87.1	22.9	39.0	12.9	14.0	18.0	7.09	7.44	11.6	4.94	13.0	30.4		
	23.	6.85	7.92	164	21.3	35.7	12.3	13.0	11.9	9.98	6.88	9.18	4.81	12.0	59.3		
	24.	6.56	7.10	95.2	21.6	32.3	11.8	12.2	10.5	7.15	10.8	8.22	4.76	16.3	74.5		
	25.	6.01	6.82	140	53.5	29.0	11.9	11.3	9.94	6.52	9.18	7.76	4.69	19.8	100		
	26.	5.75	6.55	148	64.0	29.5	14.4	13.4	9.00	6.30	7.51	6.81	4.64	16.3	61.6		
	27.	7.15	7.71	77.6	35.6	64.9	20.5	21.3	8.35	7.77	6.83	6.75	4.53	13.6	34.3		
	28.	7.11	47.1	76.2	28.3	59.0	21.9	18.6	7.65	10.4	17.9	9.97	4.90	17.8	25.1		
	29.	6.37	36.6	49.1	45.8	45.8	17.1	13.6	7.39	7.75	14.9	8.20	5.66	27.7	20.4		
30.	5.97	32.0	70.2	37.7	37.7	19.5	12.6	6.87	7.24	18.8	7.04	6.20	19.0	17.9			
31.		44.5	69.2		33.9		13.9		6.20	14.5		6.16		16.4			
Hauptwerte	Tag	7.	14	9.	8.	16.	24.	12.	30.	21.	19.	7.	27.	15.	17.		
	NQ	5.33	5.76	10.2	16.8	13.6	11.8	8.91	7.24	5.98	5.93	6.18	4.53	4.69	5.89		
	MQ	6.46	15.6	44.7	31.3	32.6	19.7	15.4	15.2	8.42	9.09	10.1	5.54	15.2	20.3		
	HQ	11.3	64.7	268	117	147	55.2	45.5	64.7	33.6	37.8	45.1	13.2	96.6	143		
	Tag	18.	28.	25	16.	19.	2.	16.	1.	4.	21.	14.	17.	17.	25.		
	NH	31	104	168	94	143	61	120	70	97	110	82	22	35	49		
	HA	15	37	107	68	78	46	37	35	20	22	23	13	35	49		
			1931/1994		1932/1995								62 Jahre				
	Jahr	1962	1962	1963	1963	1963	1950	1963	1963	1963	1962	1962	1962	1962	1962	1962	
	NQ	1.03	1.12	1.32	1.22	2.18	3.77	2.94	2.31	2.04	1.65	1.22	1.12	1.03	1.12		
MNQ	5.26	6.76	7.82	9.57	10.0	9.51	7.45	6.30	5.42	4.74	4.39	4.33	5.4	6.81			
MQ	11.9	17.2	20.5	23.3	22.6	17.2	12.6	11.6	8.72	7.75	7.38	8.38	12.7	17.6			
MHQ	56.0	89.1	105	102	83.8	51.7	51.5	54.2	34.1	31.9	31.4	32.0	60.7	91.7			
HQ	206	362	329	518	332	264	327	381	180	160	397	163	294	362			
Jahr	1972	1947	1955	1990	1988	1983	1978	1953	1987	1978	1940	1986	1944	1947			
MHN	82	86	85	75	71	71	92	101	87	92	67	67	20	42			
MHA	28	41	49	50	54	40	30	27	21	19	17	20	20	42			
Extremwerte			Niedrigwasser				Hochwasser										
		m ³ /s	V (skm ²)	Datum		m ³ /s	V (skm ²)	cm	Datum								
	1	1.03	0.922	05.11.1962	518	464	519	15.02.1960									
	2	1.12	1.00	11.10.1962	397	355	458	15.09.1940									
	3	1.22	1.09	31.10.1950	381	341	450	26.06.1963									
	4	1.42	1.27	02.11.1963	379	339	449	23.02.1937									
	5	1.53	1.37	27.10.1963	362	324	440	29.12.1947									
	6	1.53	1.37	30.01.1950	354	317	436	12.02.1945									
	7	1.53	1.37	06.11.1947	332	297	424	16.03.1968									
	8	1.65	1.48	17.09.1947	329	294	422	13.01.1955									
9	1.69	1.51	26.01.1933	327	293	421	23.05.1978										
10	1.80	1.81	11.01.1934	318	283	415	13.01.1936										
(*) Abflußjahr: 1.11. des Vorjahres bis 31.10. Ausfalljahre: KJ 1945, 1949; AJ 1945; AJ 1949-1950																	
Pegelumbau 1963																	
Terminbeobachtungen bis 1947																	

projekt:		07.02.02			
Wirkdurchmesser	5	Außendurchmesser	5,02	Schaufelabstand	524
Rand	0,01	Innendurchmesser	4,5	Länge Schaufel	726
Breite	0,75	Umfanggeschw.	1,36	Sehnenlänge Seite außen	1921
radiale Tiefe	0,25	Raddrehzahl	5,20	Länge Bodenblech	3538
Schaufelzahl	30	Schluckverm.	133	Sehnenlänge Bodenblech	3186
Teilung Boden	4	Leistung	4,47	Länge Radarme:	1845
Teilung Seite	8	eta WR (d/D)	90%		
Füllgrad	0,55	eta Getriebe	92%		
		eta Gesamt	68%		
Getriebe 1	150				
Getriebe 2	1				
Getriebe 3	1	Eingangsmoment	12.013	Gewichte:	
Generatordrehzahl	780	Eingangsmoment	80	2 Seitenringe	107
		Eingangsmoment	80	Bodenblech	146
		Eingangsmoment	80	Schaufeln	225
		Gesamtübersetzung i=	150	Div.	100
Verlustleistung Getr.	500			Gewicht Radarme	145
eta Gen.	0,83			Gewicht Rosette	100
				Gesamtgewicht Radkörper	822
Dichte	2750			Gewicht Getriebe 1	100
Seite	0,005			Gewicht Getriebe 2	40
Boden	0,005			Gewicht Generator	30
Schaufel	0,005			Gewicht Rahmen	100
				Gesamtgewicht Antriebstechnik	270
Radarme:					
Anzahl	4				
Breite	140				
Höhe	140				
Rosette Durchmesser	800				
Rosette Gewicht	200				
Gewicht Getriebe 1	250				
Gewicht Getriebe 2	50				
Gewicht Generator	50				
Gewicht Rahmen	150				



Physikalische Grundlagen der Wasserkraftnutzung

Potentielle und kinetische Energie

$$E_{\text{pot}} = m * g * h$$

$$E_{\text{kin}} = 1/2 m * v^2$$

Ableitung nach der Zeit

$$P_{\text{pot}} = \dot{m} * g * h$$

$$P_{\text{kin}} = 1/2 \dot{m} * v^2$$

Ersatz d. Massenstromes durch einen Volumenstrom ($\dot{m} = Q * \rho$)

$$P_{\text{pot}} = Q * \rho * g * h$$

$$P_{\text{kin}} = 1/2 * Q * \rho * v^2$$

theor. Leistung einer Wasserkraftanlage

$$P_{\text{th}} = 1/2 * Q * \rho * v_1^2 + Q * \rho * g * h - 1/2 * Q * \rho * v_2^2$$

wenn Zuströmgeschwindigkeit = Ablaufgeschwindigkeit, d.h. $v_1 = v_2$

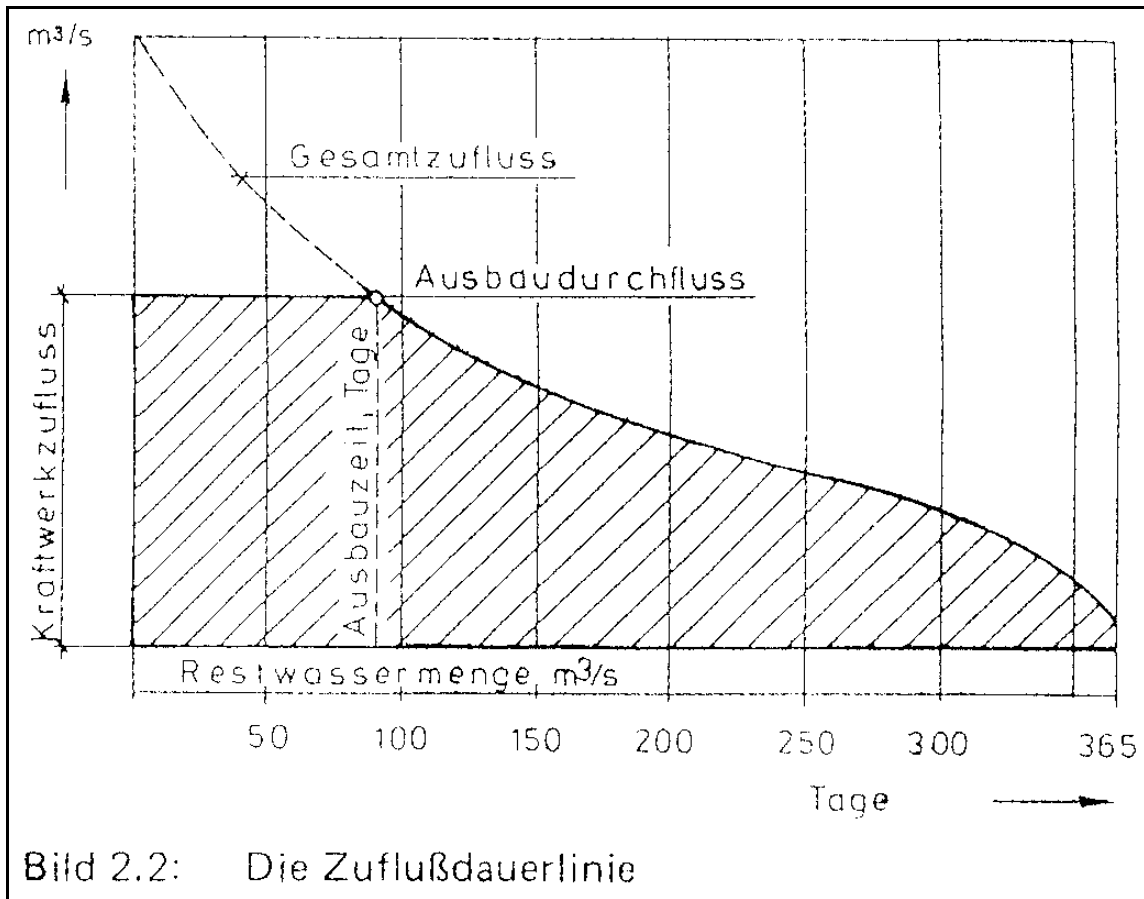
$$P_{\text{th}} = Q * \rho * g * h$$

Anlagenleistung unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades

$$P_{\text{el}} = Q * \rho * g * h * \eta$$

"Technikerformel" mit $g = 10$ $\eta = 70\%$
(aus $\rho = 1000$ resultiert P in kW statt in W)

$$P_{\text{el}} \stackrel{\text{§}}{=} 7 * Q * h$$



IWR Wasser Aktuelle Niederschlagsdaten und Wasserkraftpotentiale
Stromerzeugung aus Wasserkraft in Europa

Land	Gesamtstromproduktion [Mio kWh]		Strom aus Wasserkraft [Mio kWh]		Anteil Wasserkraft [%]	
	1996	1997	1996	1997	1996	1997
Norwegen	103.800	110.600	103.507	110.485	99,7	99,9
Österreich	53.100	55.000	36.053	37.216	67,9	67,7
Schweiz	55.100	60.600	30.238	34.890	54,9	57,6
Schweden	136.000	144.900	51.172	68.617	37,6	47,4
Italien	230.600	240.000	47.683	46.520	20,7	19,4
Frankreich	489.800	478.400	69.780	67.454	14,2	14,1
Deutschland	510.600	507.400	22.097	20.934	4,3	4,1
Tschech. Rep.	59.900	60.000	2.326	2.326	3,9	3,9
Belgien & Luxemburg	73.500	76.200	2.326	2.326	3,2	3,1
Polen	133.400	132.600	3.489	3.489	2,6	2,6
Vereinigtes Königreich	318.700	332.900	4.652	5.815	1,5	1,7
Dänemark	50.400	41.800	0	0	0,0	0,0
Niederlande	81.500	82.800	0	0	0,0	0,0
Gesamt	2.296.400	2.323.200	373.323	-	16,3	17,2

Zahlen aus: ERDMANN, Georg: "Wettbewerb als Chance für "grünen Strom"; in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 6, 1999

<http://www.iwr.de/wasser/klima/potentialeeuropa.html>

Auszug aus dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

§ 1a Grundsatz

(1) Die Gewässer sind als Bestandteil des Naturhaushaltes und als Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu sichern. Sie sind so zu bewirtschaften, dass sie dem Wohl der Allgemeinheit und im Einklang mit ihm auch dem Nutzen einzelner dienen und vermeidbare Beeinträchtigungen ihrer ökologischen Funktion unterbleiben.

§ 2 Erlaubnis- und Bewilligungserfordernis

(1) Eine Benutzung der Gewässer bedarf der behördlichen Erlaubnis (§7) oder Bewilligung (§ 8), soweit sich nicht aus den Bestimmungen dieses Gesetzes oder aus den im Rahmen dieses Gesetzes erlassenen landesrechtlichen Bestimmungen etwas anderes ergibt.

§ 7 Erlaubnis

(1) Die Erlaubnis gewährt die widerrufliche Befugnis, ein Gewässer zu einem bestimmten Zweck in einer nach Art und Maß bestimmten Weise zu benutzen; sie kann befristet werden.

§ 8 Bewilligung

(1) Die Bewilligung gewährt das Recht, ein Gewässer in einer nach Art und Maß bestimmten Weise zu benutzen.

(2) Die Bewilligung darf nur erteilt werden, wenn dem Unternehmer die Durchführung seines Vorhabens ohne eine gesicherte Rechtsstellung nicht zugemutet werden kann.

§ 15 Alte Rechte und Befugnisse

(1) Eine Erlaubnis oder eine Bewilligung ist... nicht erforderlich für Benutzungen....zu deren Ausübung am 12. August 1957....rechtmäßige Anlagen vorhanden sind.

(4) Altrechte und Altbefugnisse können **gegen Entschädigung** widerrufen werden...soweit von der Fortsetzung der Benutzung eine erhebliche Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit zu erwarten ist.

Sie können **ohne Entschädigung**...widerrufen werden, wenn der Unternehmer die Benutzung drei Jahre ununterbrochen nicht ausgeübt hat.

§ 16 Anmeldung alter Rechte und Befugnisse

(1) Alte Rechte und alte Befugnisse sind, soweit sie bekannt sind, von Amts wegen in das Wasserbuch einzutragen.

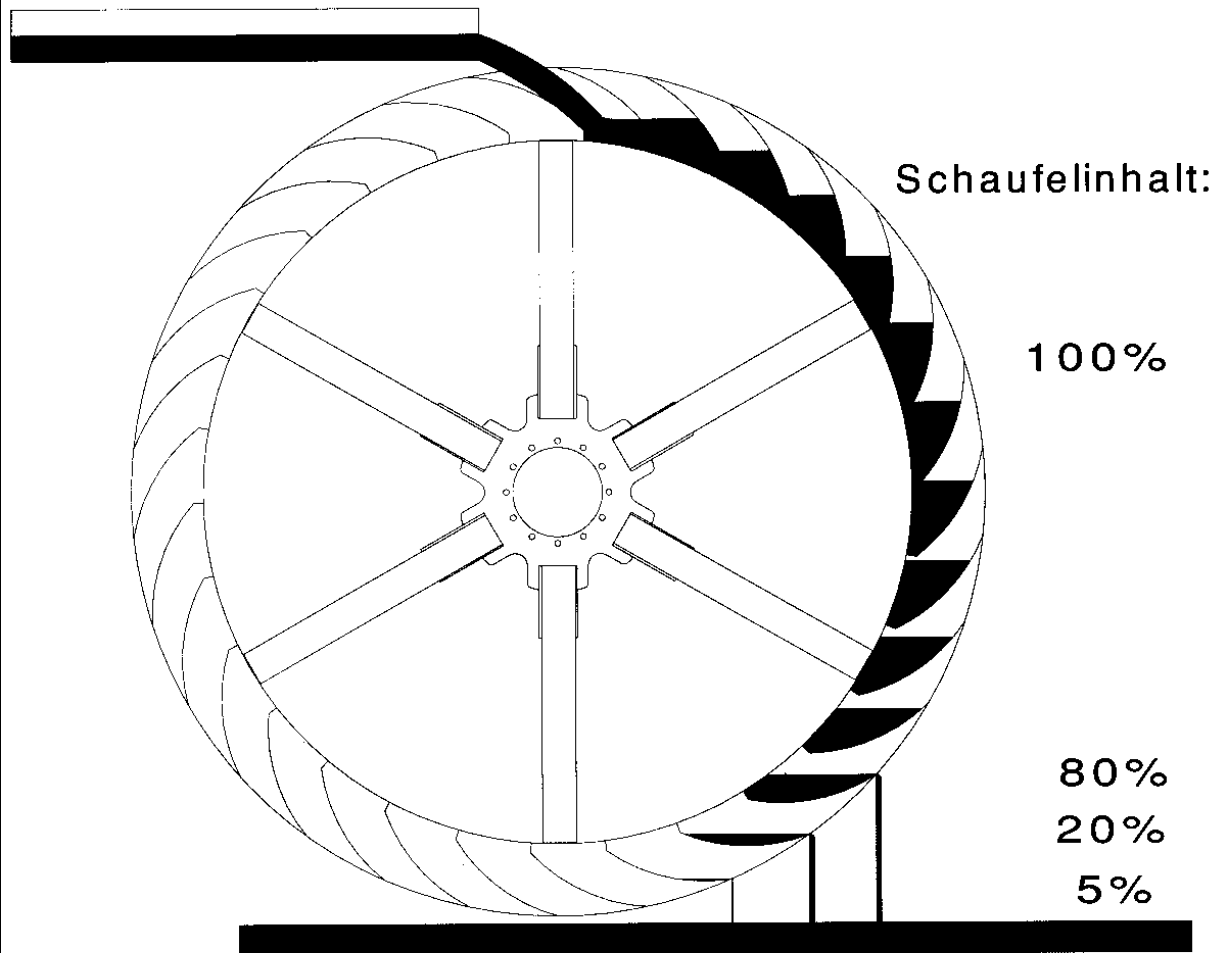
(2) Die Inhaber alter Rechte und Befugnisse können öffentlich aufgefordert werden, sie binnen einer Frist von drei Jahren nach der öffentlichen Aufforderung zur Eintragung in das Wasserbuch anzumelden.

Alte Rechte und alte Befugnisse, die bis zum Ablauf dieser Frist weder bekannt geworden noch angemeldet worden sind, erlöschen zehn Jahre nach der öffentlichen Aufforderung...

Auf Rechte, die im Grundbuch eingetragen sind, findet Satz 2 keine Anwendung.

(3) Dem früheren Inhaber eines nach Absatz 2 Satz 2 erloschenen alten Rechts ist auf seinen Antrag eine Bewilligung im Umfang dieses Rechts zu erteilen, soweit die gesetzlichen Voraussetzungen für die Erteilung einer Bewilligung vorliegen.

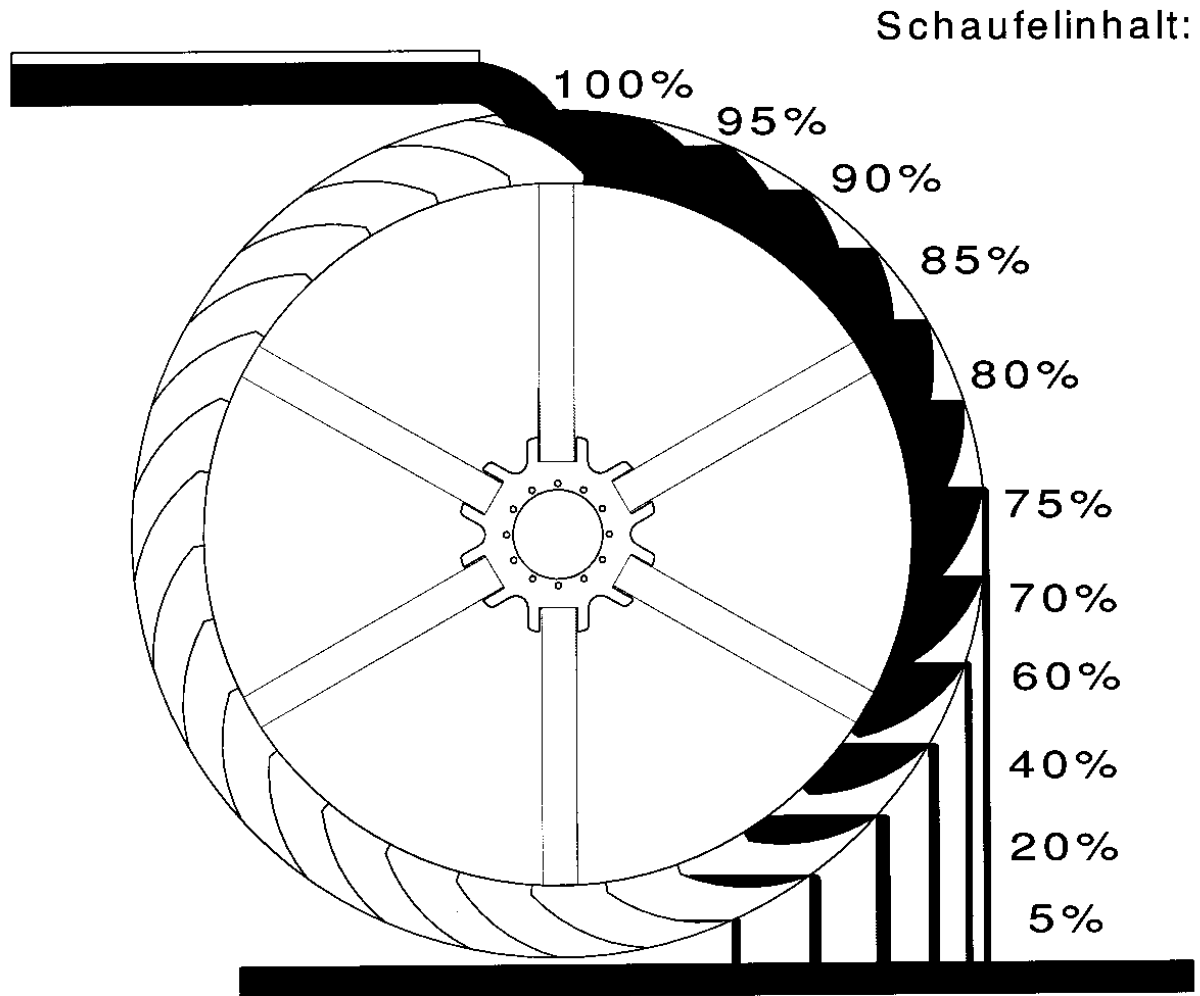
Energetische Nutzung der Wasserkraft mit einem überschlächtigen Wasserrad bei 50% Füllgrad



Wirkungsgrad bezogen
auf Raddurchmesser ca. 90%

www.bega-wasserkraft.de

Energetische Nutzung der Wasserkraft mit einem überschlächtigen Wasserrad bei 100% Füllgrad



Wirkungsgrad bezogen
auf Raddurchmesser ca. 70%

www.bega-wasserkraft.de

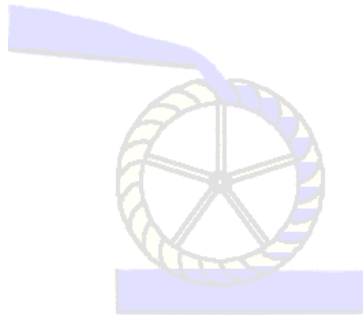
5. fwu-Workshop

Dipl.-Ing. Günther, BEGA

Schluckvermögen eines oberflächigen Wasserrades in m ³ /s:										0,60
Jahr	Δ	Q	S	D	η WR	η Getr.	η Gen.	η Ges.	kW	kWh
365										
300	65	1,37	0,60	3,7	0,95	0,90	0,88	0,75	16,4	25.562
270	30	1,02	0,60	3,7	0,95	0,90	0,88	0,75	16,4	11.798
240	30	0,78	0,60	3,7	0,95	0,90	0,88	0,75	16,4	11.798
210	30	0,62	0,60	3,7	0,95	0,90	0,88	0,75	16,4	11.798
183	27	0,51	0,51	3,7	0,95	0,90	0,88	0,75	13,9	9.025
150	33	0,41	0,41	3,7	0,95	0,90	0,88	0,75	11,2	8.868
130	20	0,37	0,37	3,7	0,95	0,90	0,88	0,75	10,1	4.850
120	10	0,35	0,35	3,7	0,95	0,90	0,85	0,73	9,2	2.216
110	10	0,32	0,32	3,7	0,95	0,90	0,85	0,73	8,4	2.026
100	10	0,31	0,31	3,7	0,95	0,90	0,85	0,73	8,2	1.963
90	10	0,29	0,29	3,7	0,95	0,90	0,80	0,68	7,2	1.728
80	10	0,27	0,27	3,7	0,95	0,90	0,80	0,68	6,7	1.609
70	10	0,25	0,25	3,7	0,95	0,90	0,75	0,64	5,8	1.397
60	10	0,23	0,23	3,7	0,95	0,85	0,75	0,61	5,1	1.213
50	10	0,21	0,21	3,7	0,95	0,85	0,70	0,57	4,3	1.034
40	10	0,2	0,20	3,7	0,95	0,85	0,70	0,57	4,1	985
30	10	0,18	0,18	3,7	0,95	0,85	0,65	0,52	3,4	823
20	10	0,15	0,15	3,7	0,95	0,85	0,65	0,52	2,9	686
10	10	0,11	0,11	3,7	0,95	0,80	0,60	0,46	1,8	437
0	10	0,07	0,07	3,7	0,95	0,80	0,50	0,38	1,0	232
									Jahresertrag	100.047
Abkürzungen										
Q	Wassermenge am Pegel xxxxx in m ³ /s									
S	Schluckvermögen des Wasserrades									
D	Raddurchmesser									
η	Wirkungsgrad									
kW	Leistung des Wasserrades									
kWh	Elektr. Arbeit im Zeitintervall									

Literaturliste

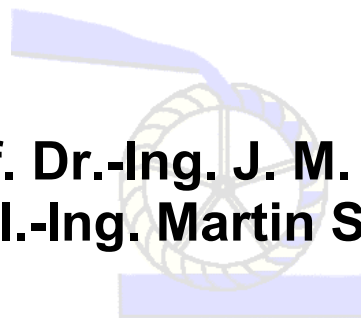
- GIESECKE / MOSONYI* *Wasserkraftanlagen, Springer 1997, ISBN 3-540-60993-8*
- v.KÖNIG / JEHLE* *Bau von Wasserkraftanlagen, C.F. Müller 1997, ISBN 3-7880-7584-8*
- KUR / WOLF* *Wassermühlen, C.F. Müller 1995, ISBN 3-7880-7547-3*
- MÜLLER, Wilhelm* *Die Wasserräder, Reprint der 2. Auflage von 1939, Verlag Moritz Schäfer, Detmold ISBN 3-87696-114-9*
- PALFFY, Sandor O.* *Wasserkraftanlagen, Kontakt und Studium Band 322, expert Verlag Ehringen 1996, ISBN 3-8169-0651-6*
- ROTARIUS, Thomas* *Wasserkraft nutzen, Rotarius Verlag Cölbe , ISBN 3-921933-07-2*
- VDEW* *Parallelbetrieb mit dem Niederspannungsnetz; Richtlinie für den Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Niederspannungsnetz der Elektrizitätserzeugungsunternehmen, Hrsg. Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke VDEW e.V. Frankfurt*
- WASSERWIRTSCHAFTS-
VERBAND BADEN -
WÜRTTEMBERG E.V* *Leitfaden für den Bau von Kleinwasserkraftanlagen, Franckh-Cosmos Stuttgart 1994 ISBN 3-440-6487-5*
- WASSERTRIEBWERK* *Verbandsorgan des Bundesverbandes Deutscher Wasserkraftwerke; 12*jährlich, Verlag Moritz Schäfer, Detmold*
- WASSERKRAFT&ENERGIE* *Quartals-Schrift für Wasserkraft und weitere saubere Energien, 4*jährlich, Verlag Moritz Schäfer, Detmold*



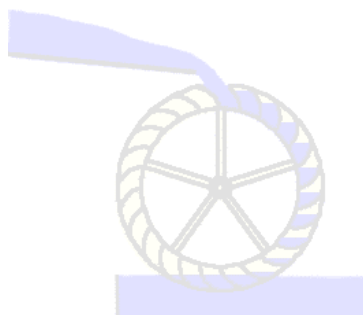
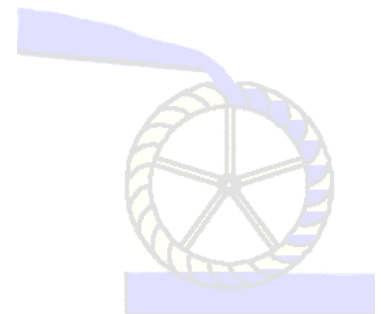
„Kleinstelektrifizierung im Inselbetrieb“



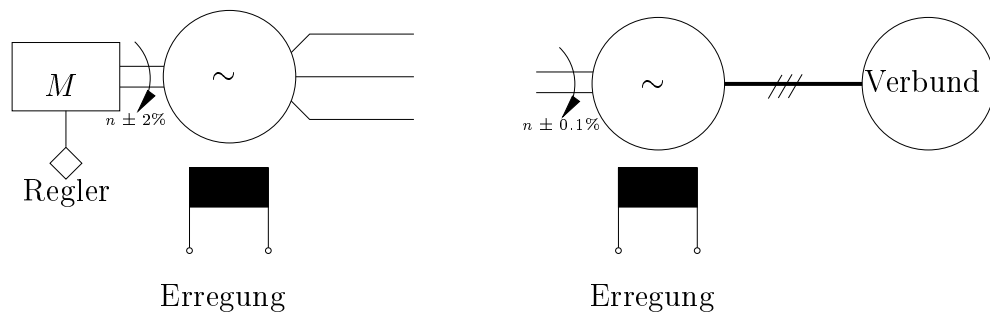
Prof. Dr.-Ing. J. M. Pacas
Dipl.-Ing. Martin Schulz



Universität Siegen
Fachgruppe Leistungselektronik und Informatik (LEA)
Hölderlinstraße 3
57068 Siegen



Kleinstelektifizierung im Inselbetrieb



Folie der üblichen Generatorkonfigurationen

Energieeinspeisung in ein gemeinsames Versorgungsnetz aus Generatoren jeder Baugröße hat in Europa eines der stabilsten Verbundnetze überhaupt hervorgebracht. Für uns ist die Energie aus der Steckdose eine Selbstverständlichkeit geworden. Generatoren im Netzverbund laufen mit konstanten Drehzahlen die von der Netzseite her diktiert werden. Die Anpassung der Spannungsebenen untereinander ist mit Transformatoren problemlos, eine Leistungsregelung kann leicht über einen Mehrumsatz an verwendeter Primärenergie geschehen.

Die Bereitstellung von elektrischer Energie an abgelegenen Orten oder in Gegenden ohne permanent verfügbares Versorgungsnetz setzt jedoch eine lokale Einrichtung voraus, die die Umwandlung verfügbarer Primärenergie in nutzbare Elektrizität ermöglicht. Fehlt die Netzanbindung spricht man von Inselbetrieb. Der Vortrag soll einen Einblick in den Versuch gestatten, einen etwas unkonventionellen Ansatz zur Lösung dieses Problemes zu liefern.

Die 'gewöhnliche' Lösung des Problemes besteht darin, einen Generator mit einer Drehzahl $n = konst$ zu betreiben und ihn gleichzeitig so zu dimensionieren, daß er bei dieser Drehzahl ein Spannungssystem erzeugt, das den Anforderungen an Frequenz und Amplitude genügt. Dies erreicht man dadurch, daß ein Erregersystem und eine Drehzahlregelung so ineinandergreifen, dass die geforderte Leistung vom Generator abgegeben wird. Ein einfaches Beispiel hierfür ist das Dieselaggregat bei dem die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie als Funktion der Treibstoffmenge anzusehen ist. Eine Drehzahlschwankung von 2% und weniger ist mit vertretbarem Aufwand realisierbar.

Regenerative Energien stehen jedoch nicht aus beliebig abrufbaren Quellen zur Verfügung; das Drehmoment eines Windrades läßt sich nicht einfach erhöhen und auch an Wasserrädern ist dies nicht so leicht arrangierbar wie am oben genannten Dieselaggregat. Aufwendige Regelungsmechanismen sind die Folge deren Konstruktion wartungs- und kostenintensiv ist. Die Optimierung zu einer drehzahlunabhängigen Anlage ist Ziel dieser Arbeit.

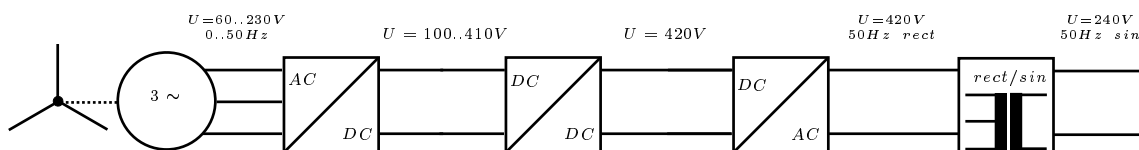
Energiegewinnung ohne Drehzahlregelung und Erregerleistung

Gesucht ist nach einem Aufbau der es ermöglicht, einer Kraftanlage (hier Wind- oder Wasserkraft) die primär zur Verfügung stehende Leistung so zu entziehen, daß sich die Drehzahl der Anlage als Freiheitsgrad den momentanen Gegebenheiten entsprechend einstellt, ohne das dabei die Qualität der bereitgestellten Stromversorgung zu sehr leidet.

Diese Lösung eignet sich zur Versorgung einer Kleinanlage im Inselbetrieb und gewährleistet deren Betrieb so lange, wie die Differenz aus zur Verfügung stehender und benötigter Leistung positiv ist. Erfolgt die Gewinnung mittels Wasserkraft so ist eine gewisse Kontinuität zu erwarten, die deutlich besser ist als die bei Windenergie. Zudem ist die zu erwartende Drehzahlschwankung geringer als sie bei einem Windkraftgerät ausfiele.

Die Transformatorlösung

Der gesamte Weg von der Einspeisung der Primärleistung bis zur Abnahmestelle besteht ab dem Generator, hier eine permanenterrechte Synchronmaschine, aus einem Brückengleichrichter, einem DC-Steller und einem Wechselrichter mit nachgeschaltetem Transformator.



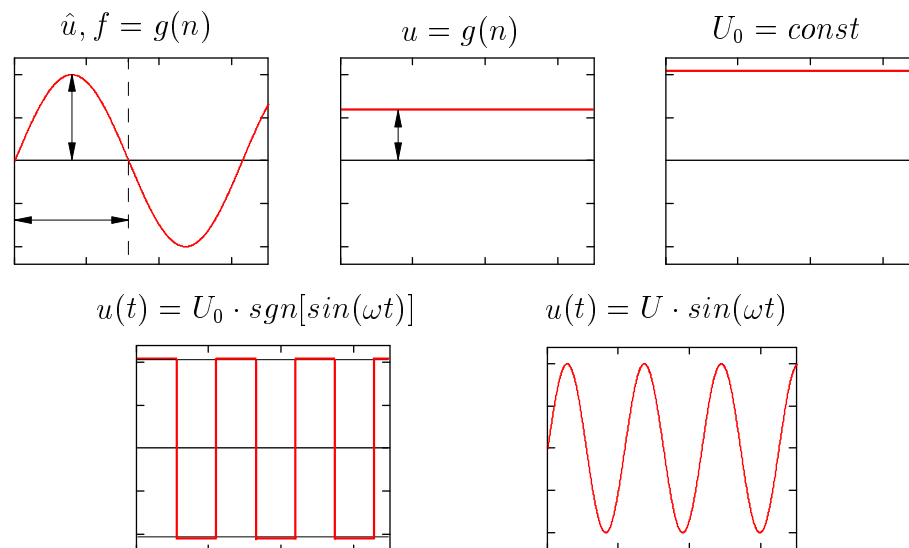
Die Wahl fiel auf die permanenterrechte Synchronmaschine weil hierbei keine Erregerleistung zur Verfügung gestellt werden muß und sich die gesamte Anlage somit ohne jegliche Starthilfe in Betrieb nehmen läßt. Desweiteren sind Maschinen im angestrebten Leistungsbereich (3-5kW) als standardisierte Geräte in großen Stückzahlen und daher preisgünstig verfügbar. Die niedrigen Drehzahlen einer Wasserkraftanlage müssen hier durch ein Getriebe eine Anpassung in Bereiche erfahren, die möglichst nahe am Bemessungspunkt des Generators liegen sollten. Da die vom Generator abgegebene Leistung das Produkt aus Drehzahl und Drehmoment ist erzeugt er, abhängig von der Belastung auf der elektrischen Seite, ein Drehmoment, welches von der Antriebsmechanik aufgebracht werden muß. Abhängig von deren Charakteristik und der zur Verfügung stehenden Primärleistung stellt sich dabei eine Drehzahl ein, für die gilt:

$$P_{ab} = M \cdot \omega = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$
$$\Rightarrow n = \frac{M}{P_{ab} \cdot 2\pi}$$

Der sich einstellende Betriebspunkt läßt sich somit aus einer Drehzahl-Drehmomentkurve bestimmen, die die Charakteristik der antreibenden Einheit repräsentiert. Das vom Generator gelieferte Spannungssystem ist somit in Amplitude und Frequenz von seiner Drehzahl abhängig. Diese Abhängigkeit gilt es zu eliminieren.

Elektrisch erfolgt daher zunächst eine Gleichrichtung der Generatorspannung um die Frequenzabhängigkeit $f = g(n)$ zu eliminieren. Der DC-Steller sorgt anschließend für eine konstante Gleichspannung am Eingang des Wechselrichters und fängt somit die Änderung der Höhe der Gleichspannung ab. Der nachgeschaltete Wechselrichter stellt daraufhin eine rechteckförmige Spannung mit der festen Frequenz von 50Hz bei einer ebenfalls festen Amplitude von 420V bereit. Die Anpassung der Spannungshöhe auf die geforderten 240V geschieht mit dem Übersetzungsverhältnis des Transformators der hierfür abgestimmt und gefertigt wird. Dies führt zu einer vereinfachten Topologie des DC-Stellers und zu einer Minimierung des Bedarfs an elektronischen Bauteilen. Zudem kommt die Anlage in dieser Konfiguration ohne Prozessortechnik aus. Die speziell gestaltete Transformatorschaltung arbeitet hier als Filter und sibt bei vertretbarem Wirkungsgrad (85%) die Oberschwingungen aus der Rechteckspannung. Die verbleibende Grundschwingung erfüllt dann die Anforderungen an die Netzspannung mit $u(t) = U_0 \cdot \sin(\omega t)$.

Die Zeichnungen verdeutlichen schematisch, wie die einzelnen Stufen bei der Gewinnung der sinusförmigen Ausgangsspannung aussehen.

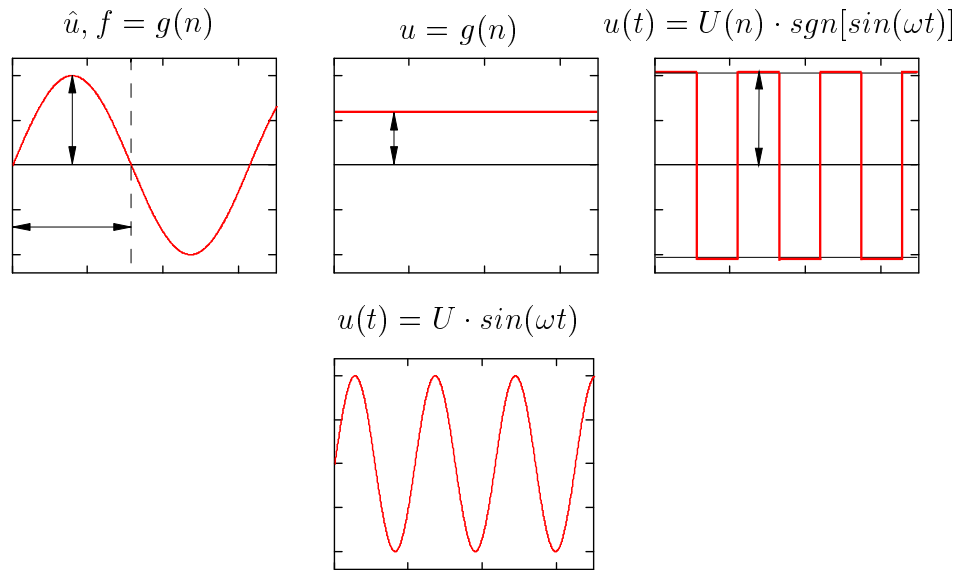


Folie zur Gewinnung der sinusförmigen Spannung

Nachteile dieser Anordnung sind das hohe Gewicht des Transformators und die Tatsache, daß man mit dem Wechselrichter schon eine Anordnung geschaffen hat, die dem auf Puls-Weiten-Modulation basierendem Wechselrichter ähnelt. Somit ist die Anordnung weder technisch noch wirtschaftlich von Interesse.

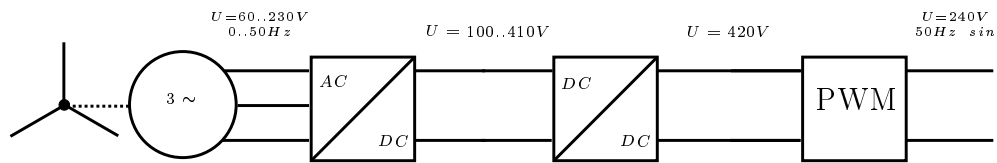
Kann jedoch von der Anordnung der mechanischen Seite eine Drehzahlschwankung von nicht mehr als $n_0 \pm 20\%$ garantiert werden, so läßt sich die eingesetzte Transformatorschaltung als magnetischer Spannungsstabilisator verwenden. Dieser erlaubt eine konstante Ausgangsspannung bei in großen Bereichen schwankender Eingangsspannung. Die Einsparung des Stellgliedes zur Konstanthaltung der Gleichspannung wären von großem wirtschaftlichem Interesse, zudem wäre eine sehr robuste und kompakte Anlage mit einfachem elektrischen Aufbau entstanden. Die Regelung der Amplitude wäre hierbei Sache des Transformators, für die Einhaltung der Frequenzstabilität sorgt der Wechselrichter. Die Vorteile und Einsparungen führen zwar zu einem Abstrich an Qualität der Ausgangsspannung da der vom Transformator erzeugte Sinus von der Idealform abweicht, der Gehalt an Oberschwingungen kann jedoch auf ein der Norm entsprechendes Maß reduziert werden.

Die schematische Darstellung der einzelnen Stufen zeigt deutlich, daß auf diese Weise das aufwendige und kostenintensive Stellglied auf Basis leistungselektronischer Bauteile entfallen kann:



Folie zur Gewinnung der sinusförmigen Spannung

Die High-Tech-Lösung



Die Kombination aus Wechselrichter und Transformator der vorangegangenen Anordnung wird hier durch einen Wechselrichter ersetzt, der mit Hilfe der Puls-Weiten-Modulation aus einer Gleichspannung eine sinusförmige Spannung synthetisiert.

Hierdurch entfällt zwar das hohe Gewicht des Transformators, allerdings steigt der Aufwand an elektrotechnischen Mitteln und somit die Wahrscheinlichkeit notwendiger Arbeiten durch Fachpersonal. Für den Wechselrichter ist dabei der Einsatz von Mikroprozessortechnik fast unumgänglich, es handelt sich hierbei jedoch um eine so weit verbreitete Technologie, daß sie durchaus als Stand der Technik Anerkennung finden kann.

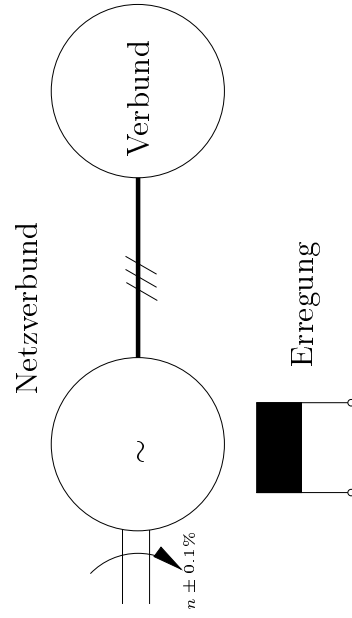
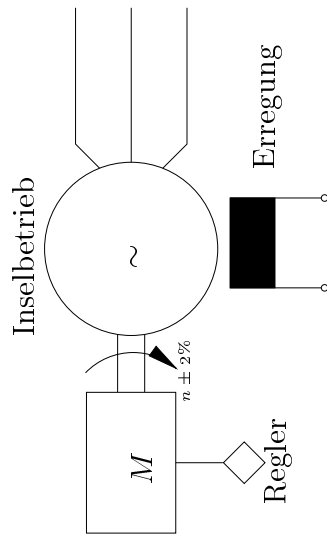
Den Vorteil den man sich durch den Einsatz dieser Art der Schaltungstechnik erwirtschaftet ist neben dem geringen Gewicht und der deutlich reduzierten Baugröße der bessere Wirkungsgrad (etwa 98%) und der geringere Preis. Bezogen auf den Wunsch, die gesamte Anlage als Förderprojekt im Sinne der Hilfe zur Selbsthilfe zu gestalten muß das Augenmerk darauf gelenkt werden, daß bei Verwendung digitaler Komponenten das Reperatur- und Pflegeproblem gegenüber den analogen Mitteln deutlich wächst; die reine Bestückung der Elektronik des ersten Aufbaus sowie der dort nötige Transformator jedoch Bauteile mit hoher Verfügbarkeit selbst in Entwicklungsländern betrifft.

Findet jedoch der Einsatz eines PWM-Wechselrichters statt so steht hierin bereits ein Prozessor zur Verfügung der in der nächsten Ausbaustufe der Geräteüberwachung, Fernabfrage und Ferndiagnose dienlich sein könnte. Eine solche Lösung bietet sich allerdings nur in infrastrukturell starken Gegenden an wo der Einsatz von Wartungspersonal bei Meldung durch das Diagnosesystem wirtschaftlich ist.

Desweiteren ist der Einsatz von Mikrokontrollertechnik wünschenswert um eine Priorisierung der Stromverteilung zu gewährleisten. Da die Anlage nur bis zu einem Maximum Energie abgeben kann muß bei dessen Überschreitung ein selektives Abschalten von Verbrauchern erfolgen um die Einhaltung der Randbedingungen zu gewährleisten. Die notwendige Entscheidungslogik kann leicht in den Prozessor integriert werden der auch die Spannungssteuerung übernimmt. Auf diese Art ließen sich zwei weitere Kriterien ergänzen:

- Die Anlage versorgt die nötigen Verbraucher und kann, wenn Energie im Überschuß vorhanden sein sollte, weniger zeitkritische Systeme beschicken. Eine Anordnung die bei Überkapazität z.B. Trinkwasser entkeimt oder Meerwasser entsalzt wäre denkbar.
- Die Anlage versorgt die wichtigsten Systeme, weitere weniger kritische Systeme erhalten Energie nur dann, wenn Energieüberschuß vorhanden ist. Ein Szenario hierfür wäre der Einsatz einer Windkraftanlage in Kriesengebieten. Zunächst würde Energie für die Kühlung von Medikamenten bereitgestellt. Warmwasserbereitung und Beleuchtung stünden nur zur Verfügung wenn über den Bedarf des Kühlsystemes hinaus Energie verfügbar ist.

Letztendlich läuft der Betrieb darauf hinaus, die Maschinerie im sogenannten MPP (maximum power point) zu betreiben um so viel Energie wie möglich zu gewinnen und zu nutzen.



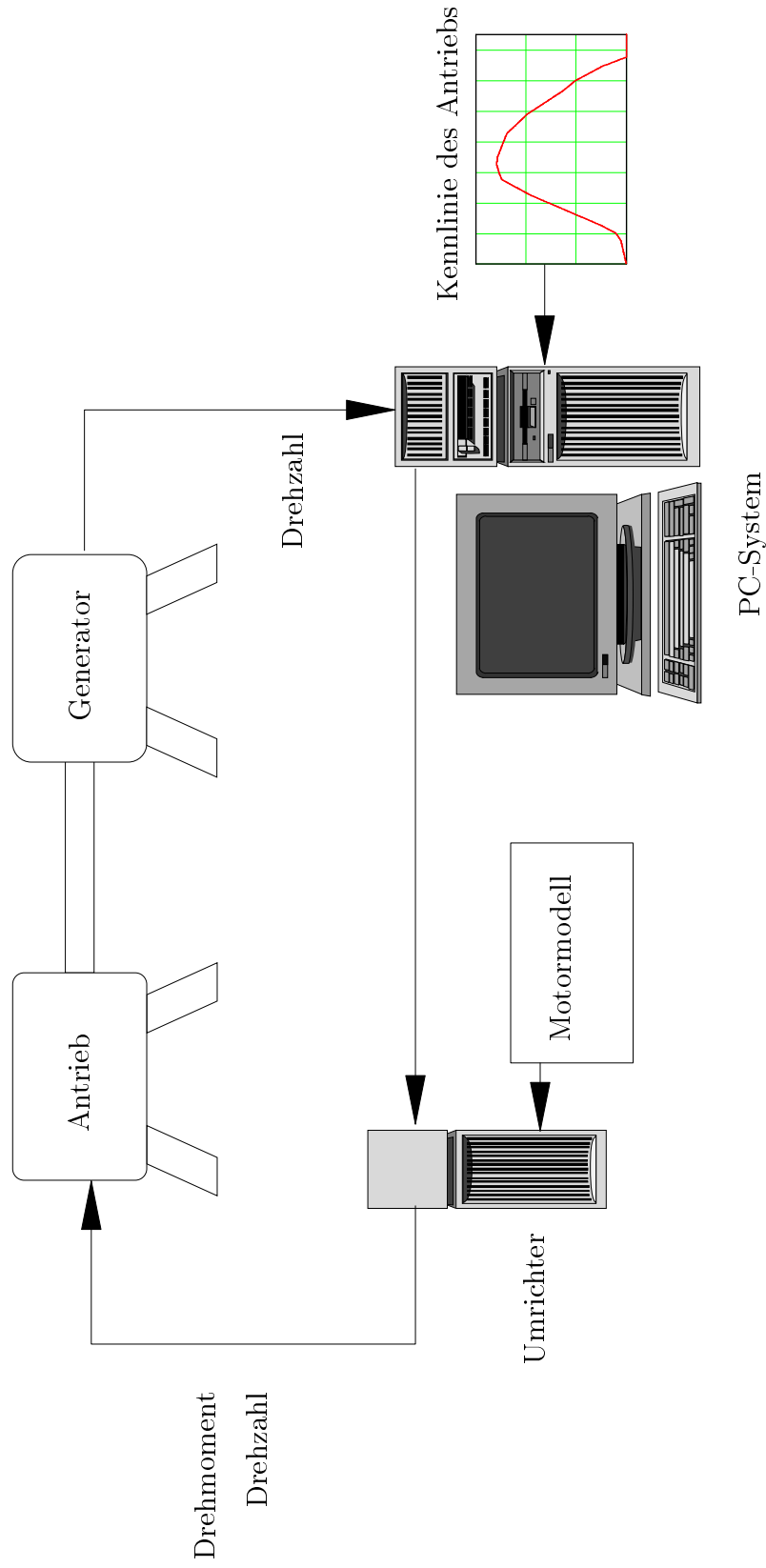
Standardkonfiguration für Generatorschaltungen



Die Ziele der Arbeit, die auf das Thema Wasserkraftwerk übertragen werden können sind im einzelnen:

- Gewinnung einer stabilen Stromversorgung bei variabler Generator Drehzahl
- Aufbau der Elektronik aus so wenig Komponenten wie möglich
- Verwendung von Standardkomponenten für Mechanik und Elektronik
- Robustheit, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit
- Hohe Qualität der Spannungsversorgung
- Einfache Wartung und Pflege
- Minimierung der Herstellungskosten

Standardkonfiguration für Generatorschaltungen



Schema des Laboraufbaus zur Simulation verschiedener Antriebscharakteristiken

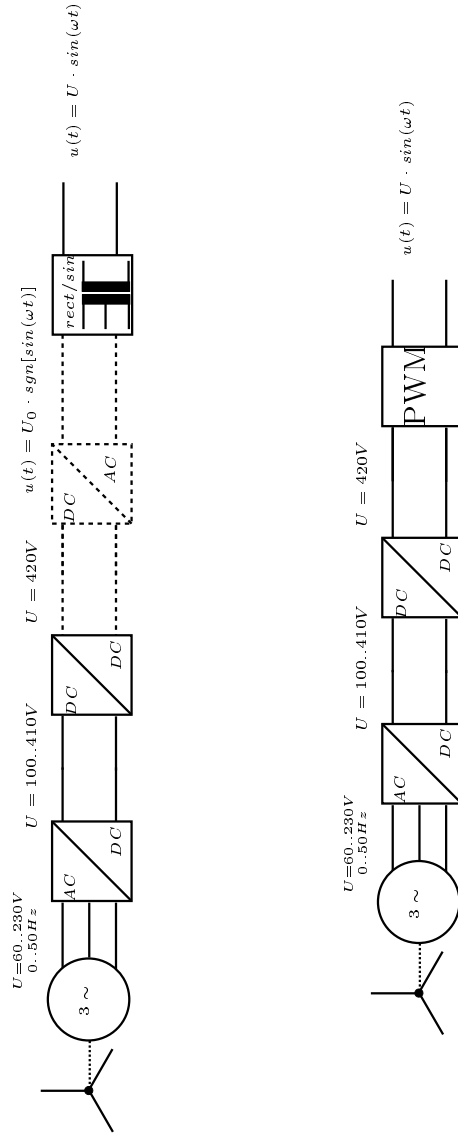
Umrichter und Messung

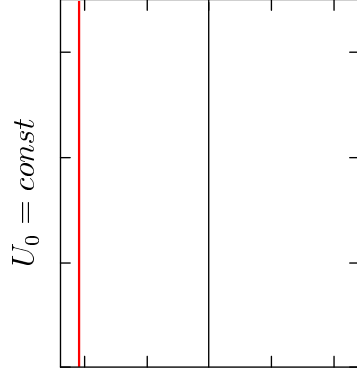
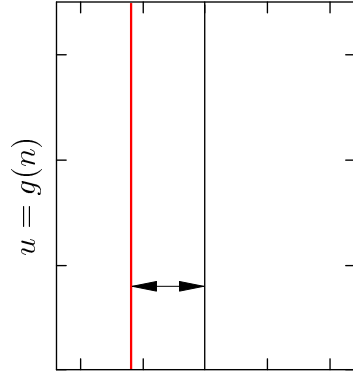
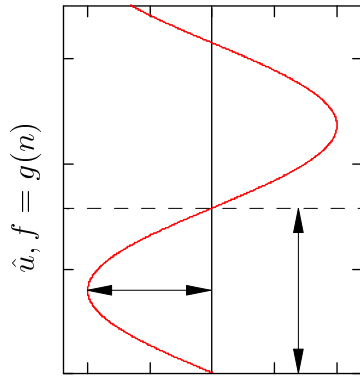


Generator und Antrieb

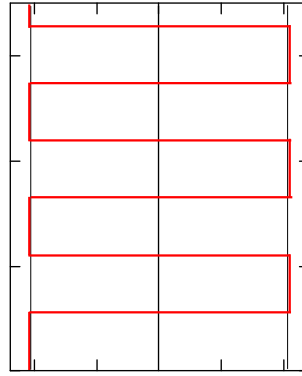


Laboraufbau zur Simulation verschiedener Antriebscharakteristiken

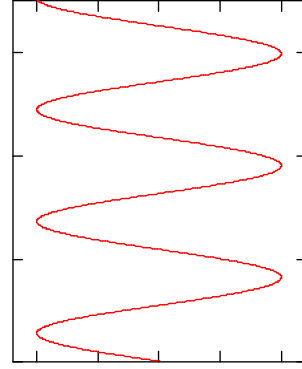




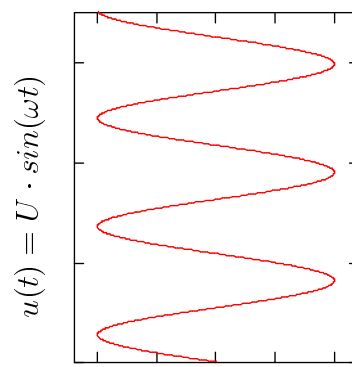
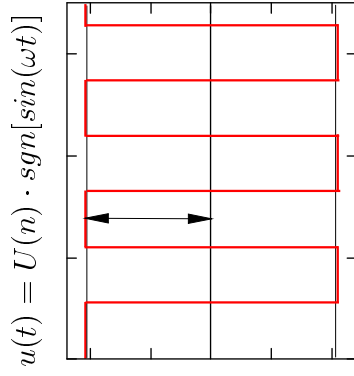
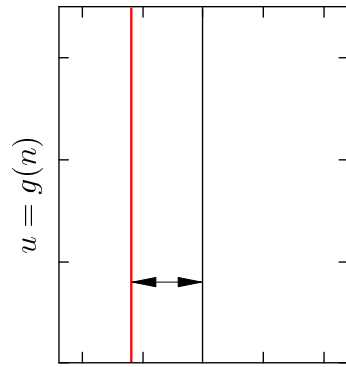
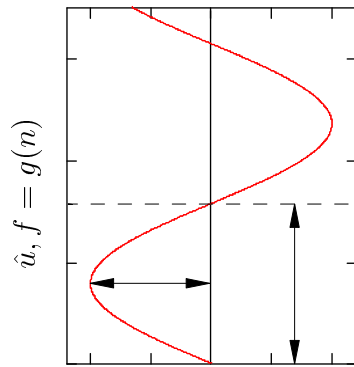
$u(t) = U_0 \cdot \text{sgn}[\sin(\omega t)]$



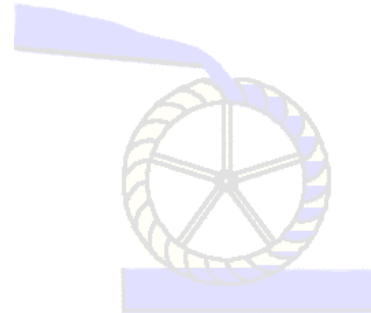
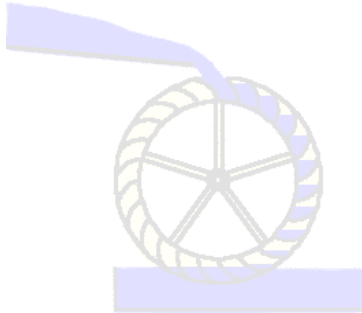
$u(t) = U \cdot \sin(\omega t)$



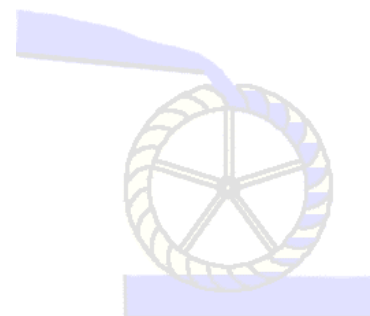
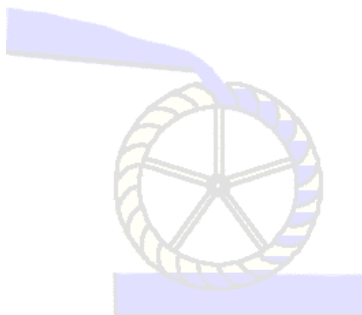
Synthese einer sinusförmigen Spannung mittels Gleichspannungswidenschkreis und Transformator



Synthese einer sinusförmigen Spannung mittels magnetischer Spannungstabilisierung



Exkursion/Pressebericht



Exkursion

Wasserrad Struppmühle in Gießen

Allgemeine Daten

Betreiber der Anlage:	Stadtwerke Gießen
Standort der Anlage:	Struppmühle in Wieseck
Anlagentyp:	Wasserrad
Installierte Leistung :	3,5 kW
Vertragsbeginn:	01. Januar 2000

Stromertragsdaten

prognostizierte jährliche Einspeisemenge ins öffentliche Netz: 30.000 kWh
monatliche Einspeisemenge (Durchschnitt): 2.500 kWh



Quelle: <http://www.naturstrom.de/erzeuger/wasser/struppmuehle/>

Argensteiner Mühle in Weimar Argenstein

Allgemeine Daten

Baujahr:	13jh.
Standort der Anlage:	Zur Lahn 21, Weimar Argenstein 35096, Argenstein
Landkreis:	Marburg-Biedenkopf
Bundesland:	Hessen
Kontakt:	Dr. Karl-Heinz Wenz (0 64 56 / 2 32) gertraude.wenz@t-online.de

Unterschlächtinge Wassermühle mit noch funktionierendem mächtigen Mühlrad. Seit 1975 stillgelegt. Derzeit Kleinwasserkraftwerk mit 5-8 kW Leistung. Original Ausstattung aus 1880 bis 1920.

Quelle: http://www.deutsche-muehlen.de/muehlen_daten/detail.asp?id=666



Quelle: <http://www.uni-jena.de/~p9scsch/priv/album/lahn/lahn.html>

Unweit Marburg - Die Argensteiner Mühle

Eine echte Mühle - das heißt eine, die von der Kraft des Windes oder des Wassers getriebenen Getreide mahlt - zählt heute zu den Seltenheiten nicht nur der deutschen oder - wie hier - der oberhessischen Landschaft. Überall in der Welt triumphiert die Zweckmäßigkeit über das Schöne, die Eile über das Beschauliche. Unweit von Marburg, einige Kilometer südlich an der B 3 hat die schnellebige Zeit ein wenig verhalten und einer uralten Handwerkstradition Referenz erwiesen.

Argenstein heißt der kleine Flecken an der Lahn, wo die alte Mühle mahlt. Sie ist seit 300 Jahren im Besitz ein und derselben Müllerfamilie. Die Überlieferung will wissen, daß die Ursprünge bis ins 14. Jahrhundert zurückgehen und daß die Mühle einst geistlicher Besitz war, ehe die mächtigen, unterschlächtigen Zwillingwasserräder eigenständige Müller ernährten. Der schwarzgrüne Kranz des Wassermooses an der Hauswand spricht von zahllosen Umdrehungen der von der Strömung des Flusses getriebenen Räder.

5. fwu-Workshop

Exkursion

Die hessische Landschaft gehört zu den stilleren, intimeren Deutschlands, und auch ihre Flüsse und Fließchen fügen sich dienend in den Rahmen gemächlichen Temperamentes, beschaulicher Lebensart. Der Main kommt schon reichlich erwachsen in Hessen an; aber Fulda und Eder, Diemel und Kinzig und die Lahn, vertreten die eigentliche hessische Gangart. Sie wässern das Wiesen- und Weideland, zuweilen überfluten sie es auch - die Lahn tat sich dabei so häufig hervor, daß man sie schließlich zwischen den beiden Weltkriegen regulierte. Aber der Grundzug ihres Wesens ist idyllisch, und an schönen Tagen wirft ihr Spiegel da und dort Szenerien zurück, die im Leben des zwanzigsten Jahrhunderts einigermaßen kostbar geworden sind. Das gilt nicht allein für so stattliche und betagte Fachwerkbauten wie die Argensteiner Mühle im "Marburger Land" - es gilt wohl für das hessische Leben überhaupt...

Noch heute hat zum Beispiel im nahen Marburg - ein paar Kilometer stromaufwärts - das Human-Gesellige seine unangefochtene und selbstverständliche Ordnung: der regelmäßige Markt ist ebenso farbenfroh, wie das studentische Leben dort selbstverständlich ist. Zwischen Fulda, Eder, Rhein und Lahn gibt es manchen Zeugen großer Lebensart und Gesinnung - denken wir an den Limburger Dom, das Weilburger Schloß, die Marburger Elisabethkirche und alles Streift ein Hauch Beschaulichkeit, und insofern ist die Argensteiner Mühle, so einzigartig sie als Mühle ist, doch wieder keine Seltenheit.

Quelle: <http://www.gemeinde-weimar.de/geschichte.html>

Bericht aus der Siegener Zeitung vom 9. März 2002

Die Wiedergeburt einer 5000 Jahre alten Technik

Wassermühlen nicht nur für Entwicklungshilfe ein aktuelles Thema

Von Dirk Herrmann

SIEGEN. (wp)

Es klappert die Mühle am rauschenden Bach. Kaum mehr als ein nostalgisches Gerät ist geblieben vom Wasserrad der guten alten Zeit. Doch als Energiespender hat gerade das Wasserrad am alten Mühlengraben eine große Zukunft. Denn es gibt zehntausende von Standorten in Deutschland, die nur darauf warten, zu neuem Leben erweckt zu werden.

Einen wichtigen Anteil an dieser Wiederentdeckung des Wasserrades hat Diplom-Ingenieur Thomas Günther, Gründer und Geschäftsführer der Bega Wasserkraftanlagen in Bochum. Günther sprach jetzt als Hauptreferent beim 5. Workshop der Forschungsstelle Wasserwirtschaft und Umwelt der Universität Siegen. Vor fachkundigem Publikum und Studierenden warb der Ingenieur für die Nutzung einer uralten Technik.

Thomas Günther war während seines Studiums auf die Wasserräder gestoßen worden. Denn sein eigentliches Ziel war damals die Wind-

kraftnutzung. Die aber, so überredete ihn sein Professor, habe keine Zukunft, erzählt der Ingenieur schmunzelnd. Immerhin habe er sich unter diesem Druck der Wasserkraft zugewandt und sein Urteil zurück genommen, dass es bei dieser Technik für Ingenieure nichts mehr zu tun gebe.

Günther weiß natürlich, dass die Energiegewinnung aus Wasserkraft in Deutschland als ausgereizt gilt. Doch schon der Siegener Wasserbau-Professor Dr. Ing. Jürgen Jensen hatte in seiner Einfüh-

rung darauf hingewiesen, dass in der Zukunft einiges möglich sei. Zwar seien angeblich schon 95 bis 97 Prozent der Wasserkraft in Deutschland genutzt. Doch beziehe sich dieser Wert nur auf die derzeit großtechnisch und kommerziell nutzbare Wasserkraft.

Diesen Gedanken griff Diplom-Ingenieur Günther auf und verdeutlichte die Dimensionen. Noch vor hundert Jahren hätten 100 000 Wasserräder Mühlen, Sägewerke, Hämmer und Schleifsteine angetrieben. Heute gebe es



Die Stadtwerke Gießen ließen vor zwei Jahren das alte Wasserrad der Struppmühle reaktivieren. Es speist 30 000 Kilowattstunden Strom ins Netz ein. Vorher lag es brach - wie viele alte Mühlenstandorte im Siegerland.



Die Strüppmühle in Gießen war das Ziel einer Exkursion des Wasserbau-Workshops der Uni Siegen. Zuvor hatten Dipl.-Ingenieur Thomas Günther in der Universität Siegen vor Fachpublikum über die Reaktivierung alter Mühlen gesprochen. WP-Fotos

noch rund 8000 Standorte, an denen Turbinen-Generatoren zur Stromerzeugung antrieben.

Doch keiner dieser Turbinen stehe an den alten Mühlen. Die Turbine habe zwar den Nutzungsgrad der Wasserkraft erhöht, doch sei der Antrieb nur an Gewässern mit starken Abflüssen einsetzbar. Die weiter oben an den Flüssen gelegenen Wasserräder seien in diesem letzten Jahrhundert überwiegend still gelegt worden.

Die langsam laufenden Räder eigneten sich zunächst halt nicht zur Stromgewinnung. Die Übersetzung der Drehzahlen von Wasserrädern auf schnell laufende Generatoren machte keinen Sinn.

Doch genau hier sieht Günther seine Aufgabe. Das Strom-Einspeisungsgesetz habe außerdem inzwischen die Voraussetzung geschaffen, Wasserkraft nicht nur an den

großen Flüssen zu nutzen.

Eine Diplomarbeit, die den Oberlauf der Ems untersuchte, weist über hundert denkbare und zum Teil noch vorhandene Standorte aus.

Die Ökobilanz spricht eindeutig für das Wasserrad

Dipl.-Ing. Thomas Günther

Mit modernen Planetengetrieben hat es der Ingenieur vorgemacht, wie alte Wasserräder mit geringem Aufwand reaktiviert werden können und Wirkungsgrade von über 90 Prozent erreichen. Günther: „Die Ökobilanz spricht eindeutig für das Wasserrad. Aufgrund seiner niedrigen Drehzahl ist eine Verletzungsgefahr für Fische ausgeschlossen, eine biologische Durchgängigkeit des Gewäs-

sers bleibt gewahrt“.

Für viele Menschen sei das Wasserrad ein nostalgisches Gerät, das man sich vielleicht im Museum anschauen könne. Günther: „Das ist aber keine Technik von gestern, sondern für heute und morgen“.

Andere Länder machten es den Deutschen vor, erzählt der Entwickler, der seinen Beruf aus einem ökologischen Bewusstsein heraus versteht. Norwegen gewinne 99,9 Prozent seiner Energie aus Wasserkraft, Österreich immerhin noch 67,7 und die Schweiz 57,7 Prozent. Deutschland erzeuge nur 4,1 Prozent seines Energieverbrauchs aus Wasserkraft. Die Flüsse seien zwar voll erschlossen, doch die Zukunft liege an den Oberläufen. 80 Mühlen hat sein Unternehmen in den vergangenen Jahren neu gebaut oder reaktiviert, nur ein winziger Bruchteil der Möglichkeiten.

Die einfache Technik und

ihre Robustheit und Langlebigkeit sind es auch, die den Bereich Wasserwirtschaft der Universität Siegen zur Teilnahme am Projekt „Wasserräder für Afrika“ bewegt haben. Seit Jahren begleitet die Uni Forschungs- und Entwicklungshilfe-Projekte in Äthiopien. So hofften die Workshop-Veranstalter Jensen, Dipl.-Ingenieur Jan-Eric Kapp und Dipl.-Ingenieur Jörg Wieland, Lösungen zur Energiekrise in dem afrikanischen Land beitragen zu können.

Jensen: „Acht Monate Energie sind besser als gar keine Energie.“ Gesucht werde eine Technik, die robust sei, vor Ort gebaut und gewartet werden könne. Hightech-Investitionen der Entwicklungshilfe hätten sich oft genug als wertlos erwiesen. Es gehe darum, den Äthiopiern eine Technik anzubieten, die dort angenommen werden könne: „Wir wollen eine 5000 Jahre alte Technik neu aktivieren.“