
SPIEKER
LANDESKUNDLICHE BEITRÄGE UND BERICHTE

31

HARALD WESTBELD

**KLEINWASSERKRAFTWERKE
IM GEBIET DER OBEREN EMS**

Nutzung einer vernachlässigten Energiequelle

KLEINWASSERKRAFTWERKE IM GEBIET DER OBEREN EMS



1986

GEOGRAPHISCHE KOMMISSION FÜR WESTFALEN · MÜNSTER

Schriftenreihe der Geographischen Kommission
im Provinzialinstitut für Westfälische Landes- und Volksforschung
Landschaftsverband Westfalen-Lippe

SPIEKER

LANDESKUNDLICHE BEITRÄGE UND BERICHTE

Begründet von Wilhelm Müller-Wille und Elisabeth Bertelsmeier
Herausgegeben von der Geographischen Kommission für Westfalen durch
Alois Mayr (Vorsitzender), Klaus Temnitz (Geschäftsführer),
Heinz Heineberg, Hans-Hubert Walter, Julius Werner

31

HARALD WESTBELD

Kleinwasserkraftwerke im Gebiet der oberen Ems

Nutzung einer vernachlässigten Energiequelle

1986

Bezug: Geographische Kommission für Westfalen, Robert-Koch-Str. 26, 4400 Münster (Westf.).
Schriftleitung: Dr. Klaus Temnitz

V o r w o r t

Seit Menschengedenken hat man auch in Westfalen den aktiven und intelligenten Umgang mit dem "Geofaktor Wasser" gepflegt. Galt es einerseits, sich vor den häufigen Überflutungen zu schützen, so stand andererseits auch lange die Wasserkraftnutzung im Mittelpunkt des Interesses. Mit der Ausbreitung der flächendeckenden Energieversorgung aus den Fernleitungsnetzen für Strom und Gas schien das Ende der Kleinwasserkraftanlagen, zumindest in tiefländischen Gebieten, gekommen zu sein, und in der Tat sind nur wenige Wassermühlen und stromerzeugende Turbinen in den Bächen und Flüssen z.B. des Münsterlandes bis in unsere Zeit hinein erhalten geblieben.

Die gegenwärtige Suche nach ressourcenschonenden, umweltfreundlichen und erneuerbaren Energiequellen in dezentraler Lage macht es notwendig, auch im norddeutschen Flachland das hier vorhandene Wasserkraftpotential zahlenmäßig zu ermitteln, selbst wenn es nur geringfügig zur Deckung des Gesamt-Energiebedarfs beitragen dürfte. So hat Harald Westbeld in seiner Diplomarbeit zur angewandten Physiogeographie den Einzugsbereich der Oberen Ems bis zum Pegel Einen auf die bestehenden Möglichkeiten zur Energiegewinnung durch Kleinwasserkraftwerke hin untersucht, wobei gleichsam als 'Nebenprodukt' ein weitgehend vollständiges, frühere wie heutige Standorte dieses Raumes erfassendes Wassermühlenkataster zusätzlich herauskam.

Schon während ihres Entstehens wurde diese Diplomarbeit, die dank der Fachkompetenz ihres Verfassers eigentlich kaum einer Betreuung bedurfte, nicht zuletzt auch wegen des lebhaften Interesses der Medien an einer Berichterstattung in Wort und Bild von der Öffentlichkeit vergleichsweise stark beachtet. Der bestehenden Nachfrage in bezug auf die Berechnungsgrundlagen sowie Zahlen und Fakten trägt die Geographische Kommission im Landschaftsverband Westfalen-Lippe nun Rechnung, indem sie hiermit eine gestraffte Fassung dieser praxisrelevanten Grundlagenstudie vorlegt. Es ist zu wünschen, daß die Ergebnisse dazu beitragen mögen, die Diskussionen um den möglichen Beitrag der Wasserkraft zur Energiebedarfsdeckung zu versachlichen und die erkannten Potentiale zu nutzen.

VII

I n h a l t

	Seite
Vorwort	V
Einleitung: Anlaß, Gebiet und Aspekte der Untersuchung ...	1
1. Energie - Problematischer Segen für die moderne Zivilisation	5
1.1 Diskrepanz zwischen Energiebedarf und -verbrauch ...	5
1.2 Erneuerbare Energiequellen	7
1.3 Wasserkraft als schonende Alternative	10
2. Das technisch nutzbare Wasserkraftpotential der Oberen Ems und ihrer Nebenflüsse	15
2.1 Das Untersuchungsgebiet	15
2.2 Die Ems von der Senne bis zum Dollart	20
2.2.1 Der Abfluß nach langjähriger Beobachtung	22
2.2.2 Ermittlung des Abflusses an den Kleinwasserkraftwerken	30
2.3 Nutzung des Wasserkraftpotentials an der Oberen Ems früher und heute	31
2.4 Technik der Kleinwasserkraftanlagen	46
2.5 Berechnung des Wasserkraftpotentials und Abschätzung der Nutzungsmöglichkeiten	56
2.5.1 Verfahren und Annahmen	59
2.5.2 Errechnung des Wasserkraftpotentials	66
2.5.3 Wertung der Ergebnisse und Ermittlung der reaktivierungswürdigen Anlagen	68
2.5.4 Vergleich mit anderen Potentialstudien	76
3. Aspekte der Reaktivierung und des Neubaus von Kleinwasserkraftwerken	79
3.1 Nutzungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit	79
3.1.1 Betriebswirtschaftliche Betrachtung	82

VIII

	Seite
3.1.2 Volkswirtschaftliche Auswirkungen einer verstärkten Kleinwasserkraftnutzung	88
3.2 Kleinwasserkraft und Umweltschutz	89
3.3 Rechtliche Voraussetzungen für den Betrieb eines Kleinwasserkraftwerks	93
4. Zusammenfassende Betrachtung und Überlegungen zur Intensivierung der Kleinwasserkraftnutzung	96
Anmerkungen	102
Literatur	110
Anhang	119

T a b e l l e n

1	Mittlere Abflüsse (l/s) und Abflußspenden (l/s/qkm) ausgewählter Pegel und Meßstellen im Untersuchungsgebiet	24
2	Monatliche Verteilung der großen Hochwasser der Ems im Zeitraum 1941-1969	30
3	Leistungsdaten der 1985 im Untersuchungsgebiet betriebenen Kleinwasserkraftwerke	44
4	Leistung, Betriebsstunden und Ausbauwassermengen der 19 im Untersuchungsgebiet betriebenen Kleinwasserkraftwerke	65
5	Veränderungen der Leistungen, Jahresarbeiten und Betriebsstunden in Abhängigkeit vom Ausbaugrad	72
6	Wasserkraftpotential und reaktivierungswürdige Anlagen im Untersuchungsgebiet nach Wasserläufen	75

	Seite
7	Von der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe beratene Anlagen-Reaktivierungen, Neu- und Umbauten ... 83
8	Verkaufs- und Einkaufspreise (Pf/kWh) ausgewählter Energieversorgungsunternehmen (EVU) im Bereich der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe 86
9	Lage, Ausstattung und Nutzung der 152 ehemaligen, bestehenden und noch betriebenen Wassermühlen im Untersuchungsgebiet Anhang
10	Leistungsdaten der 152 Wassermühlen nach Angaben und Potentialberechnung Anhang

A b b i l d u n g e n

1	Das Untersuchungsgebiet im Einzugsgebiet der Ems 2
2	Die drei Grundformen der Wasserräder 10
3	Wasser- u. Speicherkraftwerke mit über 1 MW Leistung in der Bundesrepublik Deutschland 13
4	Das Gewässernetz im Untersuchungsgebiet 16
5	Naturräumliche Einheiten im Untersuchungsgebiet 16
6	Höhenschichten im Untersuchungsgebiet 17
7	Niederschläge im Untersuchungsgebiet 17
8	Mittlere monatliche Hoch-, Mittel- u. Niedrigwasserabflüsse am Pegel Einen 1946-1980 25
9	Mittlere Jahres-, Winter- u. Sommerabflüsse am Pegel Einen 1954-1982 25
10	Wasserförderung der Stadtwerke Bielefeld 1890-1976 und Prognose 28
11	Versiegte Wasserläufe im Trockenjahr 1959-60 28

	Seite
12	Kopie eines Erfassungsblattes zur früheren und jetzigen Wasserkraftnutzung 34
13	Nutzung der Mühlengebäude und Wasserkraft im Untersuchungsgebiet 1985 36
14	Staurechte im Untersuchungsgebiet 1985 36
15	Mühlenstillegungen im Untersuchungsgebiet 41
16	Ehemalige, bestehende und theoretisch neu zu errichtende Anlagen nach Leistungsklassen und ihre summierten Leistungen aufgrund der Potentialberechnung 41
17	Jahresarbeit des Emskraftwerkes Warendorf 1926-1964 und mittl. Abfluß am Pegel Eiden 1951-1964..... 44
18	Zwei Laufräder von Francis-Turbinen 49
19	Einbaumöglichkeiten für Francis- u. Kaplan-Turbinen 49
20	Kaplan-Laufrad mit schwenkbaren Flügeln zur Durchflußanpassung 50
21	Rohrturbine (S-Form) mit typischer axialer Durchströmung 50
22	Aufbau (a) und Wirkungsgradverlauf (b) bei verschiedener Beaufschlagung der Ossberger-Durchströmturbine 52
23	Kleinwasserkraftwerk mit stehender Francis-Schachtturbine (Querschnitt) 52
24	Höhenprofil der Oberen Ems und Kleinwasserkraftwerke 58
25	Höhenprofil der Dalke 59
26	Moselausbau als Beispiel lückenloser Wasserkraftnutzung 61
27	Wirkungsgradkurven verschiedener Turbinen 62
28	Dauerlinien der Pegel Rheda und Eiden 1964, 1975 und 1981 64

		Seite
29	Tagesleistungen der 365 berechneten Kleinwasserkraftwerke im Trockenjahr 1964 und Durchschnittsjahr 1975	70
30	Tagesleistungen der 365 berechneten Kleinwasserkraftwerke im Feuchtjahr 1981 und Durchschnittsjahr 1975	71
31	Vergleich zwischen einem rein funktional und einem ökologisch gestalteten Werkkanal	91
32	Bestehende, ehemalige und potentielle Kleinwasserkraftwerke im Gebiet der oberen Ems	Beilage

B i l d e r

1	Ehemaliges Emskraftwerk in Warendorf	37
2	Antfängers Mühle bei Rietberg	37
3	Riewenerms Mühle a. d. Dalke in Verl	38
4	Schloßmühle a. d. Ems in Rheda	38
5	Zeitweise noch aktive Sägemühle am Abrooksbach bei Harsewinkel	53
6	Mühle Strothmann am Reiherbach in Gütersloh-Avenwedde	53
7	Mühle Henkemeier am Furlbach bei Hövelhof	54
8	Mühle Redeker a. d. Kalle bei Vlotho	54
9	Mühle a. d. Heder in Salzkotten-Verne	55
10	Mühle Schlepphorst a. d. Heder in Salzkotten-Verne	55

EINLEITUNG

Anlaß, Gebiet und Aspekte der Untersuchung

Nach Jahrzehnten, in denen Hunderte von Wassermühlen aufgelassen worden sind, erwacht das Interesse an der besonders umweltfreundlichen Kleinwasserkraft neu. Finanzielle Überlegungen, die so teuer gewordenen fossilen Energiequellen durch eine eigene, billigere Energiequelle zu ersetzen, spielen die vornehmliche Rolle bei derartigen Reaktivierungs-Erwägungen. Auch die Faszination, die die Wasserkraft ausübt, und die Idee, sich selbst zu versorgen, dürfen nicht unterschätzt werden.

Wasserkraft bot neben Windmühlen lange die wichtigste Kraftquelle und hat bei der Industrialisierung eine große Rolle gespielt. Sie wurde auch in Deutschland intensiv genutzt. Es stellt sich als eine große, aber umweltpolitisch lohnende Aufgabe dar, sie wieder in etwa auf den Stand der Vergangenheit anzuheben: Die Feststellung, wie umfangreich und lohnend das in einem begrenzten, überschaubaren Raum sein könnte, ist das Hauptziel dieser Untersuchung.

Die Idee dazu erwuchs aus der Stilllegung des Emskraftwerks Warendorf (Bild 1). Gerade 100 m von der Ems entfernt (bei Hochwasser auch nur 10 m) aufgewachsen, ist es dem Verf. stets unverständlich geblieben, daß mehrere Millionen Kubikmeter im Laufe der Jahre seit Aufgabe des Kraftwerks 1964 ungenutzt über das Wehr fallen und stattdessen Kohle, Öl oder Gas verbrannt werden. Aber nicht allein deswegen ist das Gebiet der Oberen Ems von der Quelle bis zum Pegel Einen (Kr. Warendorf) ausgesucht worden (Abb. 1), sondern auch wegen des Fehlens von Untersuchungen über das Wasserkraftpotential eines Flachlandgebietes - wohl deshalb, weil es als völlig uninteressant gilt. Die 152 gefundenen Anlagen (einschl. 2 geplanter) zeigen jedoch, daß in früherer Zeit anders darüber gedacht wurde.

Es soll herausgefunden werden, in welchem Ausmaß die Wasserkraft früher genutzt worden ist und wieviel Energie maximal technisch

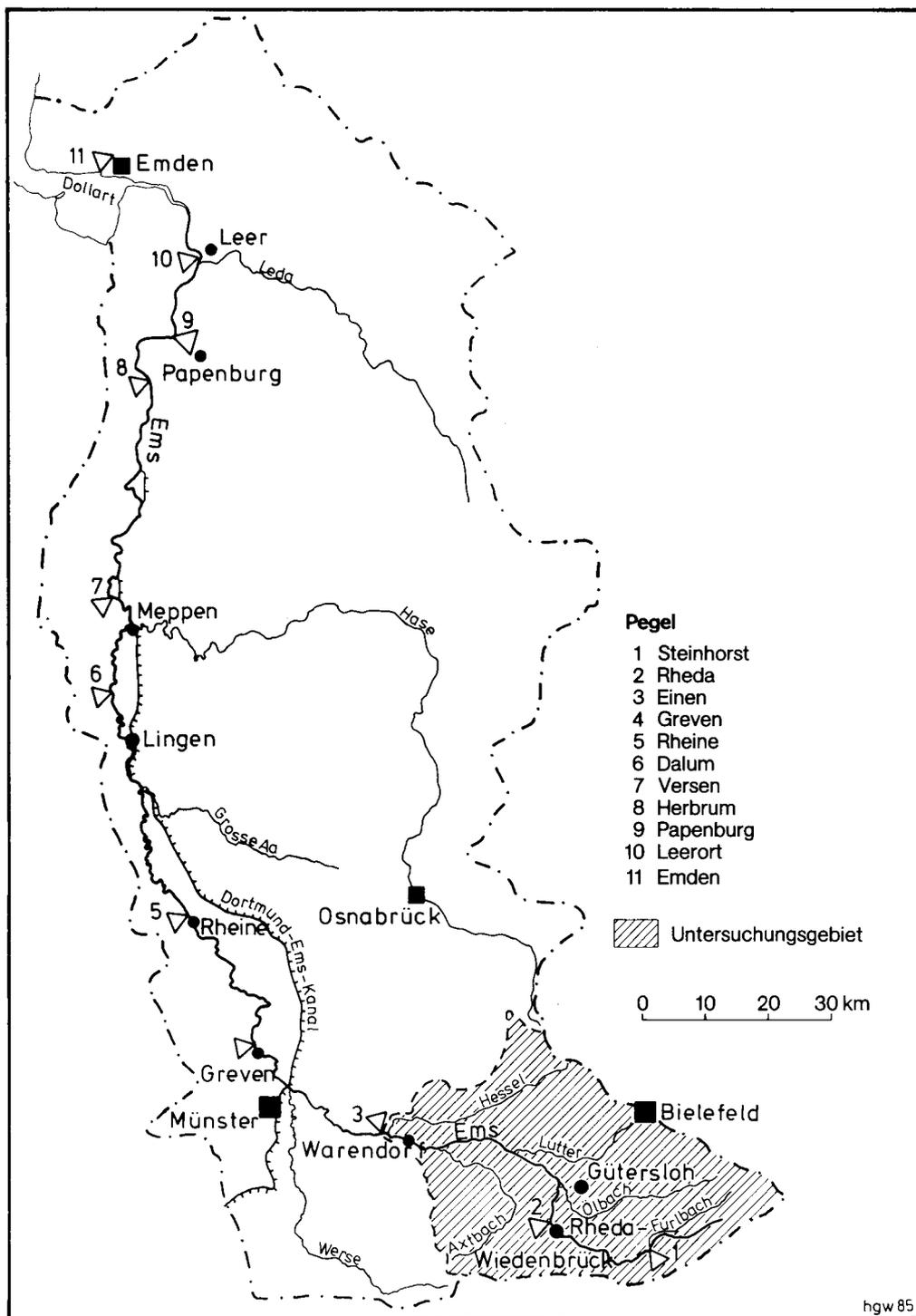


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet im Einzugsgebiet der Ems

gewinnbar wäre, würde man die Ems und ihre Nebenbäche vollständig ausbauen (vgl. Abb. 32, Beilage). In einem zweiten Schritt wird abgeschätzt, welche stillgelegten Altanlagen mit wieviel Leistung schon heute reaktivierbar erscheinen. Das Ergebnis der Potentialberechnung wird schließlich mit Studien verglichen, die seit Anfang der 80er Jahre aus Mittel- und Hochgebirgen vorliegen, um den Unterschied zwischen einem Flachland und Gebieten größerer Reliefenergie deutlich werden zu lassen. Der Errechnung des technischen Potentials liegt ein neues Verfahren zugrunde, das bekannte Methoden kombiniert, um bei vertretbarem Arbeitsaufwand ein möglichst objektives Ergebnis zu erreichen.

Um den Gang der Rechnung, den Grund für das Bemühen um erneuerbare Energien und die Schwierigkeiten einer Reaktivierung alter Anlagen verstehen zu können, werden neben diesem Kernabschnitt in weiteren Kapiteln die allgemeine Energiesituation, die erneuerbaren Energien und speziell die Wasserkraft behandelt. Die naturräumliche Beschreibung des Untersuchungsgebietes und der Ems, die Erläuterung der Abflußverhältnisse und die Ergebnisse aus der Erfassung der Altanlagen dienen ebenso dem Verständnis wie die Untersuchung der Nutzungsmöglichkeiten von Kleinwasserkraftwerken, ihrer Technik, der volks- und betriebswirtschaftlichen Aspekte, der Umweltverträglichkeit sowie der Problematik der Wasserrechte. Zusammenfassend soll aufgezeigt werden, auf welchem Wege eine stärkere Nutzung der Kleinwasserkraft zu erreichen wäre.

Bei vielen dieser Punkte erwiesen sich die Erfahrungen aus einem Praktikum bei dem Energieberater der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe (Münster), Peter KAPS, als sehr hilfreich. Dabei hatte der Verf. u.a. Gelegenheit, für Westfalen-Lippe (Regierungsbezirke Münster, Detmold, Arnsberg) die topographischen Karten nach eingezeichneten Wassermühlen zu sichten; es fanden sich 842. Unter Berücksichtigung der Erfahrungen bei den Untersuchungen für die vorliegende Arbeit - sowie ersten Ergebnissen einer 1986 begonnenen Erfassung der Wasserkraftanlagen des Hochsauerlandkreises liegt diese Zahl sicher viel zu niedrig. Es kann wohl von ca. 3000 Mühlen, Sägewerken, Hammerwerken etc. ausgegangen werden;

für die restlichen Gebiete Nordrhein-Westfalens kommen schätzungsweise noch einmal rd. 1500 Anlagen hinzu. Wieviele davon heute noch betrieben werden, kann nur Spekulation sein, denn die Karteneintragungen sind nicht nur in Bezug auf die absolute Zahl ungenau, sondern sagen auch nichts darüber aus, ob eine Anlage läuft, stillsteht oder aber auch längst abgerissen ist.

Von den 152 ehemaligen und vorhandenen Anlagen im Untersuchungsgebiet (gegenüber 71 (!) in den Karten verzeichneten) können noch oder wieder 19 Energie erzeugen; also rd. 12 %; in Mittelgebirgsräumen liegt diese Quote der höheren Leistungen und der insgesamt günstigeren Bedingungen wegen höher. Von den angenommenen 4500 Kleinwasserkraftwerken in Nordrhein-Westfalen werden - vorsichtig geschätzt - derzeit insgesamt etwa 15 % betrieben, mithin rd. 675. Weitere rd. 15 % wären nach den Erfahrungen des Verf.s und denen der Landwirtschaftskammer schon heute rentabel zu reaktivieren. Mit steigenden Energiepreisen und/oder günstigeren Tarifbedingungen der Energieversorgungsunternehmen (EVU) könnte sich diese Zahl kontinuierlich erhöhen. Doch fehlten bislang sowohl der Anstoß durch Einrichtungen oder Personen, die sich systematisch darum kümmern können, weil viele Besitzer ihre Möglichkeiten gar nicht kennen, als auch eine Förderung durch günstige Kredite oder Zuschüsse wie für andere erneuerbare Energien, mit denen die Belastungen durch die hohen Anfangsinvestitionen zu mildern wären. (Nach mehrjährigen Bemühungen der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe hat die Landesregierung Nordrhein-Westfalen in dem Haushalt 1987 fünf Millionen Mark zur Förderung der Wasserkraft angesetzt. Ob diese Mittel zur Reaktivierung vieler stillgelegter Anlagen führen werden, hängt von der Art der Förderung ab, die 1987 noch in Richtlinien festgelegt werden soll.)

1. ENERGIE - PROBLEMATISCHER SEGEN FÜR DIE MODERNE ZIVILISATION

Ein stetig ansteigender Energieverbrauch schien wenige Jahrzehnte lang der Schlüssel zu ebenso stetig steigendem Wohlstand zu sein. In nur 34 Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg wurden so große Mengen fossiler Energieträger in Wärme, Licht und Kraft umgesetzt wie in mehreren hunderttausend Jahren seit Beginn der Menschheitsgeschichte bis 1945.¹⁾* Die Grenzen des Wachstums begannen sich schon vor 1973 abzuzeichnen, wurden aber erst durch die Ölkrisen -die zweite verstärkte 1979 die Bewußtseinsbildung- auch der Allgemeinheit drastisch vor Augen geführt. In den Vordergrund rückte zwar die Endlichkeit der Ölvorkommen, tatsächlich wurde aber insgesamt deutlich, daß eine derartige Ausbeutung auch der anderen Ressourcen nicht auf Dauer möglich ist und ein Übergang zu einer schonenden Energieversorgung gefunden werden muß. Die immer gravierenderen Umweltprobleme (vor allem das Waldsterben und das drohende CO₂-Klima-Problem) sorgen für den zusätzlichen Druck, dabei keine Zeit mehr zu verlieren.

1.1 Diskrepanz zwischen Energiebedarf und -verbrauch

Mehr Wachstum durch mehr Energie gleich mehr Wohlstand hieß die einfache Formel bis etwa 1973, deren Aussage von den meisten Energieprognosen bis weit in die Zukunft verlängert wurde. Die Ölkrisen 1973 und 1978 aber gaben -zunächst wenigstens- den Befürwortern einer Strategie der effektiven Energienutzung recht, die auch ein Sinken des Primärenergieverbrauchs für möglich hielten und halten.²⁾ Entsprechend wurden die "konventionellen" Vorhersagen mehrfach nach unten korrigiert, lagen aber noch immer weit über den "alternativen".³⁾

Ob der Energieverbrauch in der Bundesrepublik auf Dauer tatsächlich sinkt, oder wie ab 1984, nach drei Jahren Rückgang bzw. Stagnation, wieder -wenn auch leichter- ansteigt, hängt von zu-

* Anmerkungen: Kapitelweise am Ende des Beitrags (Seite 102 ff.)

vielen Faktoren ab, um dies mit Sicherheit zu wissen. Die Verknappung des Öls hat vor allem auch über den Preis gewirkt und zu schnellen, drastischen Einsparungen insbesondere bei der Hausheizung geführt. So verbrauchten z.B. die amerikanischen Haushalte trotz besserer Ausstattung mit Geräten, und obwohl ihre Zahl um 13 Millionen wuchs, 1983 insgesamt weniger Energie als 1973 - im Durchschnitt jeder Haushalt 20 %.⁴⁾ Auch die Einsparungen bei Haushaltsgeräten sind beachtlich: 55 % weniger ermittelte die Stiftung Warentest z.B. für Waschmaschinen, 49 % für Kühlschränke.⁵⁾

Aber es ist noch keine generelle Umkehr erfolgt, wie der erneute Anstieg des Energieverbrauchs nach 1983 aufgrund des Wirtschaftswachstums und kalter Witterung andeutet.⁶⁾ Zum einen führte die Devise "weg vom Öl" teilweise nur zu Verlagerungen (z.B. zum Strom), zum anderen ist weder ein hinreichender Bewußtseinswandel erfolgt (siehe die weitgehend wieder auf "Sportlichkeit" umgeschaltete Autowerbung), noch sind entscheidende Relikte aus der Verschwendungszeit beseitigt. Es gilt auch immer noch das Energiewirtschaftsgesetz von 1935, das durch entsprechende Tarifgestaltung und der Zubilligung der Monopole an die Energieversorgungsunternehmen zu einer Förderung des Stromabsatzes führt - dem ursprünglichen Sinn des Gesetzes.⁷⁾ Somit klafft nach wie vor eine weite Lücke zwischen dem eigentlichen Energiebedarf und dem tatsächlichen Verbrauch, die durch den Einsatz der für die gewünschte Energiedienstleistung (z.B. ein warmes Zimmer) jeweils sinnvollsten Energie verkleinert werden könnte. Denn man kann dieses warme Zimmer mit einem in der eigenen Heizung verbrannten Liter Öl erreichen, aber auch mit gut drei Litern im fernen Kraftwerk verfeuerten Öls, das den Strom für die Elektro-speicherheizung liefert.⁸⁾

Der Trend zur bequemen, aber mit Primärenergieeinsatz durch Umwandlungsverluste verschwenderischen und teuren Elektrizität hat selbst in den Rückgangszeiten des Gesamtenergieverbrauchs angehalten. Kamen die Deutschen 1900 noch mit zehn Mrd. kWh aus, wurden 1984 allein in der Bundesrepublik 415 Mrd. kWh benötigt. Der Anteil des Stroms an der Deckung des Energiebedarfs liegt

zwar mit etwas mehr als 10 % weiterhin niedrig, in der Erzeugung aber verschlingt er ein gutes Drittel der Primärenergie.⁹⁾ Insgesamt ergibt sich also noch ein großes Einsparpotential; zu erläutern, wie und wo dieses im einzelnen liegt, würde allerdings den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Nur ein Beispiel: Bei der Raumheizung, für die 1973 rd. 40 % unseres Energieverbrauchs eingesetzt wurden, glauben LOVINS et al. eine Reduzierung um "mindestens 95 %" ¹⁰⁾ erreichen zu können. Energieeinsparung wird damit zur bedeutendsten Energiequelle, die bei konsequentem Einsatz einen Übergang zur reichlich vorhandenen, aber in niedrigerer Energiedichte angebotenen Sonnenenergie ermöglicht.¹¹⁾

1.2 Erneuerbare Energiequellen

Als kostengünstiger, sicherer und umweltfreundlicher Ausweg aus Energieproblemen wurde und wird vielfach die Kernenergie genannt. Trotz massiver Förderung - von 1956 bis 1984 gab die Bundesregierung 29,5 Mrd. DM dafür aus - hat die Atomkraft 1980 nur 3,7 %¹²⁾ zum Primärenergieverbrauch beisteuern können und erzeugte 1986 etwa ein Drittel des Stromes. Gleichzeitig mehren sich die Anzeichen dafür, daß die Atomenergie ihren Höhepunkt bereits überschritten hat, da sie sich als zu kostspielig und politisch schwer durchsetzbar erweist - von der nach wie vor ungelösten Frage der Endlagerung des Atommülls einmal ganz abgesehen. Die staatliche französische Elektrizitätsgesellschaft EDF mit dem lange Zeit ehrgeizigsten und fortgeschrittensten Atomprogramm der Erde ist mit 151 Mrd. FF (1983) verschuldet; in den USA sind alle Aufträge für Kernkraftwerke seit 1975 storniert worden. Auch in der Bundesrepublik wurden die Programme gestrichelt.¹³⁾

Selbst wenn die Kernkraft die propagierten Vorteile besäße, blieben wegen der Endlichkeit der Uranvorräte auf mehr (mit schnellem Brüter) oder weniger (ohne Brüter) lange Sicht doch letztendlich nur die erneuerbaren Energiequellen, die direkt oder indirekt von der Sonne gespeist werden. Bis vor gut 200 Jahren haben sie den gesamten Energieverbrauch gedeckt in Form von Biomasse (Holz etc.), Wind- und Wasserkraft.¹⁴⁾ Der vermeintliche "Schritt

zurück" darf nicht mit Rückschritt verwechselt werden, denn heute stehen vielfältige, technisch höchstwertige Verfahren zur Gewinnung der Sonnenenergie zur Verfügung.

Die die Erde von der Sonne erreichende Energie ist gewaltig: 178 000 TW¹⁵⁾ treffen auf die Atmosphäre im Vergleich zu den 8,2 TW des Weltenergieverbrauchs 1980. Ein Großteil davon wird aber direkt bzw. nach Auftreffen auf die Erdoberfläche reflektiert, weitere Teile werden in Wind- und Wasserbewegung (kinetische Energie) verwandelt sowie zur Produktion der Biomasse benötigt.¹⁶⁾ Entsprechend ergeben sich verschiedene Nutzungsmöglichkeiten. Direkt kann die Strahlung durch Kollektoren und photovoltaische Zellen zur Wärme- und Elektrizitätsgewinnung eingefangen, indirekt können Brennstoffe aus der Biomasse sowie Wärme, Kraft oder Strom aus Wind- und Wasserkraftwerken erzeugt werden. Für diese grundsätzlichen Gewinnungsarten sind jeweils eine Reihe von Verfahren entwickelt worden.

Unumstritten ist, daß das Potential der erneuerbaren Energien für unseren Bedarf in jedem Fall ausreicht. Die Meinungen gehen nur darüber weit auseinander, was die technische Realisierung angeht. Die Abschätzungen für die nächsten Jahrzehnte reichen von einer vollständigen Substitution¹⁷⁾ über 82 %¹⁸⁾ oder 15 - 25 % für die USA im Jahre 2000¹⁹⁾ bis herunter zu 7,8 - 10,2 % in den IIASA-Szenarien für 2030²⁰⁾. Die Unterschiede hängen nicht zuletzt von der prognostizierten Menge des Gesamtenergieverbrauchs ab. Die erneuerbaren Energien stehen ausreichend, aber in geringerer Energiedichte zur Verfügung und verlangen Speichermöglichkeiten oder einen Verbund, weil sie nicht beliebig zu jeder Zeit an jedem Ort abgerufen werden können.²¹⁾ Ein großes Hindernis bilden die hohen Investitionskosten gegenüber den geringen Betriebskosten, während es bei der derzeitigen Form der Energiewirtschaft eher umgekehrt ist. Deshalb verlangt eine sinnvolle Nutzung zunächst die Ausschöpfung des Einsparpotentials und den Einsatz der günstigsten Energieart für die jeweilige Energiedienstleistung, um dann mit möglichst kleinen, kostengünstigen Anlagen auskommen zu können.²²⁾

Zur Nutzung von Solartechniken bietet sich ein Großteil des heutigen Energieverbrauchs der Bundesrepublik an, denn allein zu 40 - 45 % wird Wärme unter 100° C erzeugt, wovon die Haushalte 91 % abnehmen.²³⁾ Dies wäre durch den passiven Gewinn der Sonnenenergie bei entsprechender Architektur und/oder aktiv durch Kollektoren möglich. Elektrizität können Wind- und Wasserkraftwerke liefern, in Zukunft auch Solarzellen, die bei einem Wirkungsgrad von 15 % (derzeit etwa 10 %) 2400 km² oder 0,96 % der Fläche der Bundesrepublik benötigen würden, um den Stromverbrauch von 1978 zu decken.²⁴⁾ Biomasse kann direkt oder in Gas bzw. flüssige Brennstoffe umgewandelt zur Verbrennung eingesetzt werden.

Nicht nur die in der Vergangenheit niedrigen Preise für fossile Energie, auch politische Hindernisse haben die Nutzung der erneuerbaren Energien in der Bundesrepublik behindert. Gut 20 000 Windmühlen liefen noch um 1900 an der Nordseeküste, deren Stilllegung die Bundesregierung in den 60er Jahren förderte.²⁵⁾ Die Mittel, die in den vergangenen Jahren in die regenerativen Energien flossen, waren vor allem für große Versuchsprojekte bestimmt. Der Vorteil der erneuerbaren Energiequellen liegt aber u.a. gerade in der dezentralen Nutzung durch kleine Anlagen, was die Umweltauswirkungen und die Abhängigkeit von großen Energieunternehmen verringert.

Während in den USA 1984 rd. 5400 Windkraftwerke mit insgesamt 417 MW neu installiert wurden (Zuwachsrate über 200 %)²⁶⁾, kämpfen in der Bundesrepublik einige wenige Windmüller noch immer gegen ästhetische Bedenken - trotz der 1,4 Mio. Hochspannungsmasten.²⁷⁾ Auch Sonnenkollektoren bleiben noch selten: Nach kurzem Aufschwung als Folge der zweiten Ölkrise ist der Verkauf wieder stark abgesunken.²⁸⁾ Dabei können neben umweltschonenden Aspekten auch volkswirtschaftliche Vorteile für die regenerativen Energien ins Feld geführt werden, z.B. der gegenüber Atomkraftwerken höhere Beschäftigungseffekt.²⁹⁾ Sollen erneuerbare Quellen aber in absehbarer Zeit einen spürbaren Beitrag zur Energieerzeugung leisten, muß umgehend mit ihrer Einführung begonnen werden, denn nach den Erfahrungen der Vergangenheit dauert es etwa 50

Jahre, bis eine neue Energietechnologie die Hälfte des Marktes erobert.³⁰⁾

1.3 Wasserkraft als schonende Alternative

Wasserkraft spielt in Literatur, Statistiken und öffentlicher Meinung lediglich eine Statistenrolle verglichen mit anderen regenerierbaren Energiequellen. Dabei ist sie derzeit die einzige erneuerbare Quelle, die einen spürbaren Beitrag von ca. 5 % zur Elektrizitätsversorgung der Bundesrepublik liefert.³¹⁾ In wasser- und gefällreicheren Ländern, wie der Schweiz, Österreich, Norwegen u.a., übernimmt Wasserkraft den größten Teil der Stromversorgung.³²⁾

Wasser- und Windkraft waren die ersten Energiequellen, mit denen der Mensch seine Kraft vervielfältigen konnte, und sie blieben über Jahrtausende die einzigen. Erste Wasserkraftanlagen, einfachste unterschlächtige Räder (Abb. 2), haben vor ca. 3000 Jahren Felder an Euphrat und Indus bewässert. Ähnlich sind sie z.B.

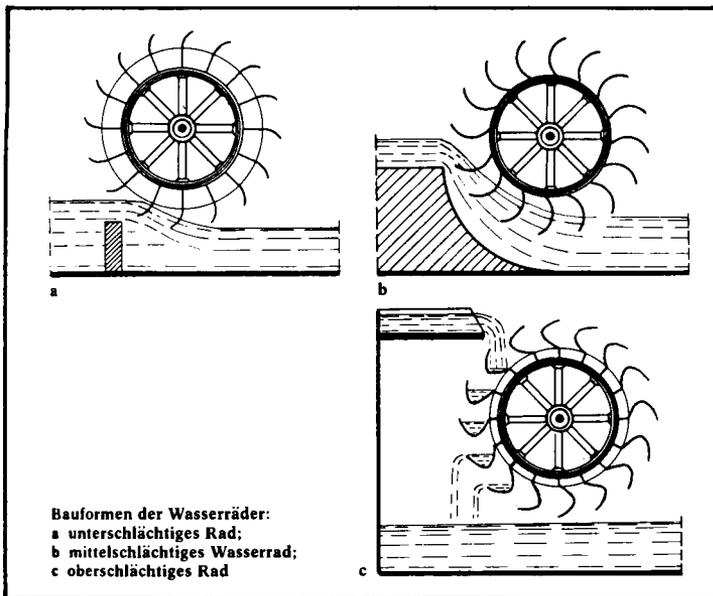


Abb. 2: Die drei Grundformen der Wasserräder
 (aus KÖNIG 1983:61)

in Kambodscha, aber auch an der Pegnitz heute noch in Betrieb.³³⁾ Mit wesentlich besseren Wirkungsgraden arbeitende überschlächtige Räder waren zwar bereits den Römern bekannt, wurden aber selten eingesetzt. Erst im Mittelalter führte der Trend zum Ersatz der Handarbeit durch Maschinen zu einem verstärkten Wasserkraftausbau. Eine Anstoßwirkung übernahmen vielfach die Klöster, vor allem die der Zisterzienser.³⁴⁾ Bereits 1068 wurden allein im normannischen Teil Englands 5624 Wassermühlen erfaßt.³⁵⁾ 1694 liefen nach Schätzungen in Frankreich 95 000 Mühlen, die nicht nur zum Getreidemahlen genutzt wurden; vielmehr waren bis zum 16. Jahrhundert bereits 40 Fertigungsprozesse entwickelt, die mit Wasserkraft arbeiten konnten.³⁶⁾

Eine Blütezeit erlebte die Wasserkraft durch zwei Entwicklungen im vergangenen und zu Beginn dieses Jahrhunderts. 1827 baute der Franzose Fourneyron die erste Turbine, deren Prinzip wahrscheinlich schon Leonardo da Vinci erkannt hatte.³⁷⁾ In rascher Folge wurden weitere Bauformen konstruiert. Die Francis-Turbine von 1849 ist noch heute weit verbreitet und, abgesehen von zwei 1903 entwickelten Durchströmturbinen, die im Untersuchungsgebiet ausschließlich installierte Bauform. 1877 wurde die für größere Fallhöhen geeignete Pelton-Turbine und 1915 die Kaplan-Turbine erfunden, deren Eigenarten im folgenden noch beschrieben werden. Die zweite Bedingung für die Blüte der Wasserkraft war die Entdeckung der Stromerzeugung, durch die neue Anwendungsgebiete erschlossen wurden. 1890 wurde an der Isar das erste Wasserkraftwerk Deutschlands gebaut, das ausschließlich der Elektrizitätsgewinnung diente.

Wenn auch schon Anfang des 20. Jahrhunderts kleine und kleinste Anlagen vor allem wegen der Ausweitung des Stromnetzes aufgegeben wurden, stieg die Leistung durch weiteren Ausbau jedoch noch an. 1930 wies die Statistik 32 600 Triebwerke mit 37 300 Wasserrädern und 218,7 MW Leistung im Deutschen Reich aus sowie 16 100 weitere Anlagen mit fast 21 000 Turbinen und 1361,3 MW. Das Gros war in Süddeutschland, wo allein Bayern, Baden und Württemberg über 18 000 Wasserkraftwerke zählten.³⁸⁾ Auf dem Ge-

biet der Bundesrepublik bestanden um 1930 noch etwa 30 000 Staufstufen (11 000 in Süddeutschland³⁹⁾) wovon bis heute (je nach Autor) über 7 000⁴⁰⁾ bis 10 000⁴¹⁾ erhalten blieben. Das Wasserkraftpotential von rund 4 500 MW⁴²⁾ wird z.Zt. mit 2 300 MW aus 250 größeren Laufkraftwerken (Abb. 3) und gut 200 MW von etwa 3 000 in das Netz speisenden Kleinwasserkraftwerken gut zur Hälfte ausgenutzt. Bis 1990 sind 35 weitere Anlagen mit 500 MW geplant. Hinzu kommen 30 Speicher-Kraftwerke, die bei Bedarfsspitzen 3 600 MW Spitzenstrom liefern können.⁴³⁾ Die ca. 3 000 Kleinwasserkraftwerke verfügen über eine durchschnittliche Leistung von 70 kW. Die verbleibenden ca. 4 000 bis 7 000 Anlagen dienen nur der Eigenversorgung der Besitzer.⁴⁴⁾

Große Änderungen in der Gesamtleistung aus Wasserkraft haben sich in den letzten Jahrzehnten kaum ergeben, da überwiegend sehr kleine Anlagen mit weniger als 20 kW Leistung stillgelegt worden sind. Wohl aber hat sich der relative Anteil an der Stromerzeugung geändert: 1935 kamen 14 % aus dem Wasser⁴⁵⁾, 1950 sogar 19 %, 1966 aber nur noch 9 %⁴⁶⁾ und 1983 lediglich 5 %⁴⁷⁾. Da sowohl 1966 als auch 1983 jeweils ca. 17 Mrd. kWh erzeugt wurden, sank der Wasserkraftbeitrag keineswegs absolut, sondern nur relativ durch den steigenden Stromverbrauch.

Der Anteil könnte durch zwei Maßnahmen wieder erhöht werden: relativ durch die in Abschnitt 1.1 und 1.2 geforderte Reduzierung des Energieverbrauchs, absolut durch weiteren Ausbau und Modernisierung vorhandener Anlagen. MÜLLER hält eine Steigerung der Wasserkraftleistung um 25 % für die gesamte Bundesrepublik für möglich. Er bleibt bei dieser Schätzung bewußt auf der sicheren Seite und setzt sie niedrig an, obwohl in drei Flußstudien ein Wert von 40 % gefunden wurde.⁴⁸⁾ Auch den lange verkannten, jetzt aber wieder ins Bewußtsein rückenden Kleinwasserkraftwerken könnte dabei eine über die gelieferte Energiemenge hinausgehende Bedeutung zukommen. HAMERAK schätzt, daß sie zwar nur 3 % der öffentlichen Stromversorgung übernehmen könnten⁴⁹⁾, darüber hinaus aber viele Vorteile bieten, z.B. in der dezentralen Versorgung mit kurzen Transportwegen, auf ökologischem Gebiet und in der Regionalförderung, was im folgenden noch eingehend darge-

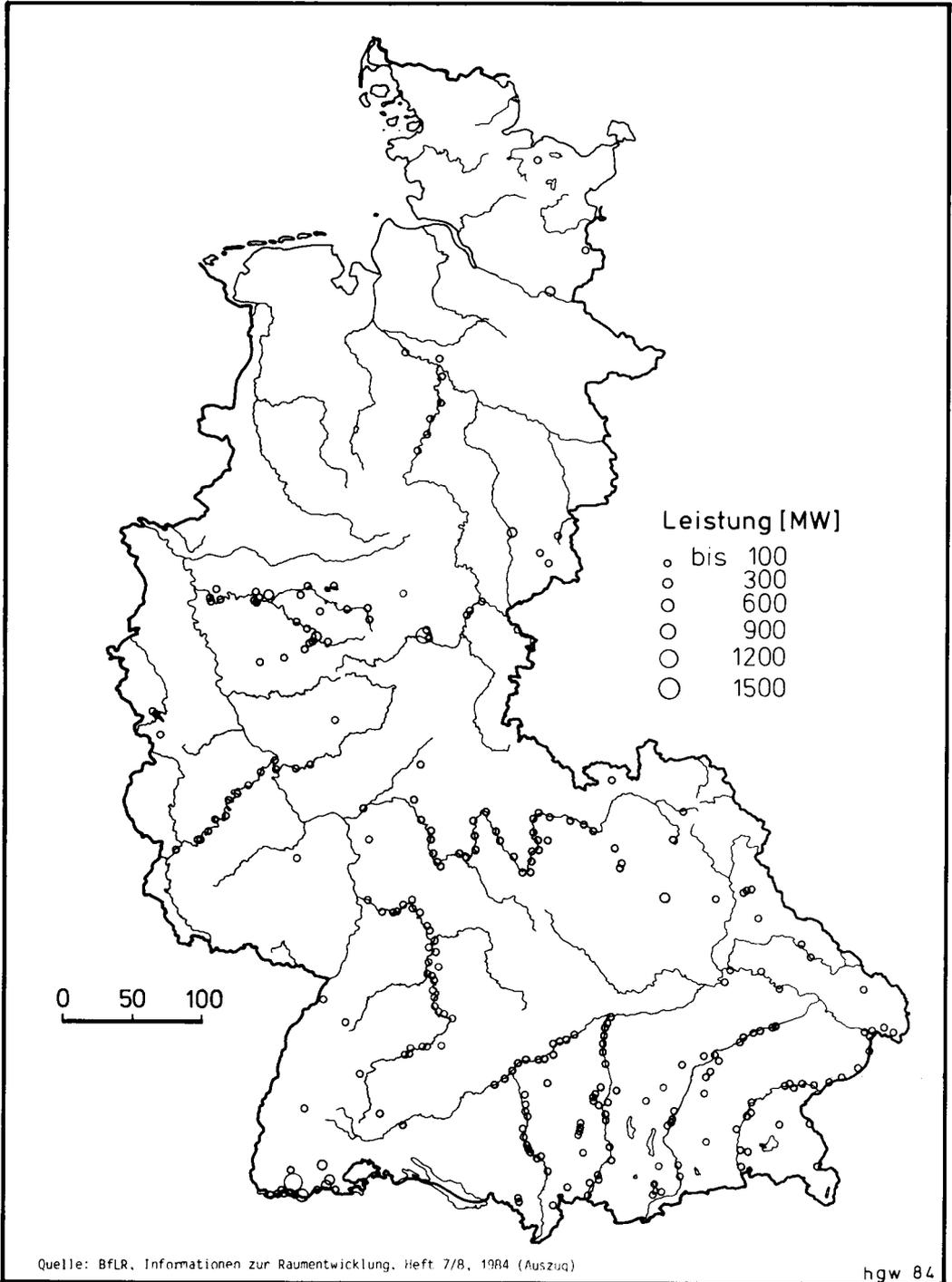


Abb. 3: Wasser- u. Speicherkraftwerke mit über 1 MW Leistung
in der Bundesrepublik Deutschland

stellt wird.

Ungleich größer als in der Bundesrepublik sind Wasserkraftpotential und Nutzung in anderen Ländern. Würden 50 % des Potentials aller Gewässer ausgeschöpft, stünden weltweit ca. 2 200 000 MW zur Verfügung. Anlagen unter 10 MW Leistung könnten nochmals 800 000 MW beisteuern, so daß insgesamt der Weltstrombedarf durch Wasserkraft abgedeckt werden könnte.⁵⁰⁾ Derzeit werden erst 10 % davon genutzt⁵¹⁾, das sind 23 % (= 1600 TWh pro Jahr) der gesamten Stromproduktion auf der Erde⁵²⁾. Groß ist das Potential vor allem in Dritte-Welt-Ländern, aber klein der dort genutzte Anteil, so daß hier bedeutende Entwicklungschancen bestehen.⁵³⁾ Riesige, spektakuläre Projekte, wie Assuan, Itaipu, Cabora Bassa u.a., haben allerdings auch mögliche Schattenseiten der Wasserkraft bei großtechnologischer Nutzung gezeigt. Hier erscheint der chinesische Ansatz einer behutsamen Entwicklung empfehlenswert, zumal für gigantische Projekte z.T. sogar die Verbraucher fehlen. In China sind vor allem seit 1949 ca. 90 000 Kleinwasserkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 8 500 MW errichtet worden. Allein durch kleine Anlagen lassen sich nach Schätzungen 70 000 MW nutzen, das sind etwas weniger als die gesamte Stromerzeugungskapazität der Bundesrepublik. Das gesamte chinesische Potential von 378 000 MW ist -symptomatisch für unterentwickelte Länder- erst zu 3,8 % ausgebaut, liefert aber ein Viertel des Gesamtstromverbrauchs.⁵⁴⁾

2. DAS TECHNISCH NUTZBARE WASSERKRAFTPOTENTIAL DER OBEREN EMS UND IHRER NEBENFLÜSSE

Wasserkraftnutzung in Berg- und Hügelländern steht außer Frage und hatte eine große Bedeutung. So war z.B. die preußische Regierung, die 1914 sämtliche Wasserkraftanlagen in umfangreichen Tabellen erfassen und Potentialberechnungen ihrer Einzugsgebiete durchführen ließ, ausschließlich an diesen Regionen interessiert, nicht aber am Flachland.¹⁾ Fehlende Erkenntnisse über die Möglichkeiten der Wasserkraftgewinnung in Gebieten mit geringer Reliefenergie gaben deshalb (neben der Herkunft des Verf.s aus Warendorf, dem Standort des Emskraftwerks) den Ausschlag, sich bei der Untersuchung für die Ems und ihre Nebenflüsse von der Quelle bis zum Pegel Einen zu entscheiden. Nach einer kurzen landeskundlichen Einordnung und der Beschreibung der Ems und ihrer Abflußverhältnisse, sollen die frühere Nutzung und das technisch nutzbare Potential der Wasserkraft in diesem Raum ermittelt werden.

2.1 Das Untersuchungsgebiet

Hydrologisch betrachtet reicht das Gebiet der Oberen Ems von der Quelle bis zum Pegel Rheine, woraus der Überschaubarkeit halber der 1499 km² große Teil des Einzugsgebietes bis zum Pegel Einen, etwa sieben Kilometer westlich von Warendorf kurz unterhalb der Hessel-Einmündung, gewählt worden ist (Abb. 4). Er ist Bestandteil der Westfälischen Bucht und kann nach mehreren naturräumlichen Einheiten unterteilt werden (Abb. 5)²⁾, auf die hier aber nicht weiter eingegangen werden soll.

So flach die obere Emssandebene vor Ort auch oft erscheinen mag, so fällt sie doch insgesamt deutlich vom Teutoburger Wald nach Südwesten und Westen auf 49 m ü. NN zum Pegel Einen hin ab (Abb. 6). Die Ems und ihre Zuflüsse entspringen meist zwischen 140 und 160 m ü. NN -im Falle des Menkebachs sogar 230 m ü. NN- in den randlichen Höhen des Teutoburger Waldes, der Senne und der Bekumer Berge. Herausgebildet wurden die Reliefunterschiede in

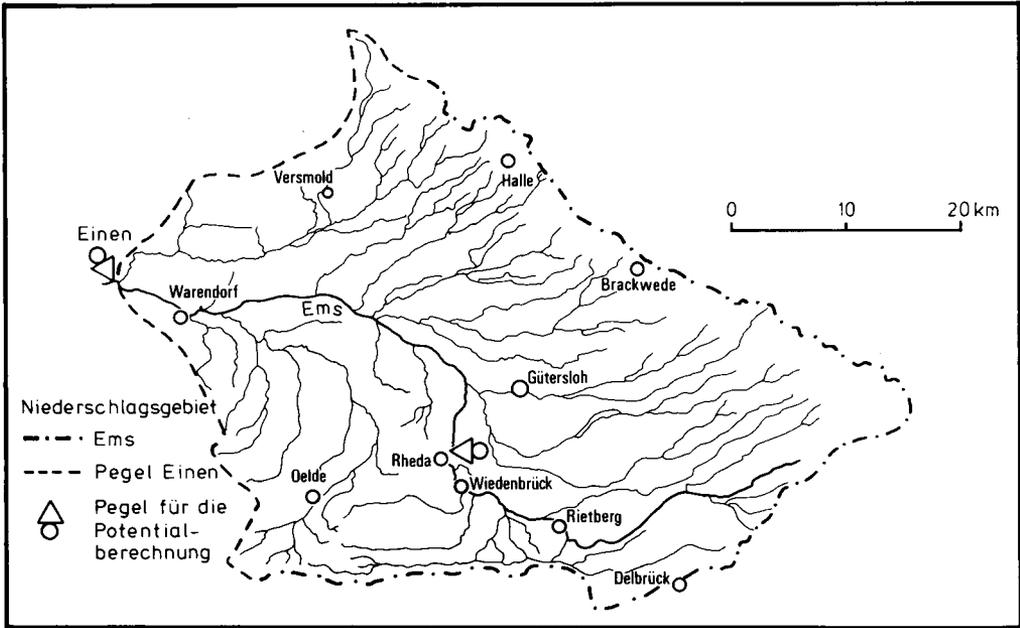


Abb. 4: Das Gewässernetz im Untersuchungsgebiet

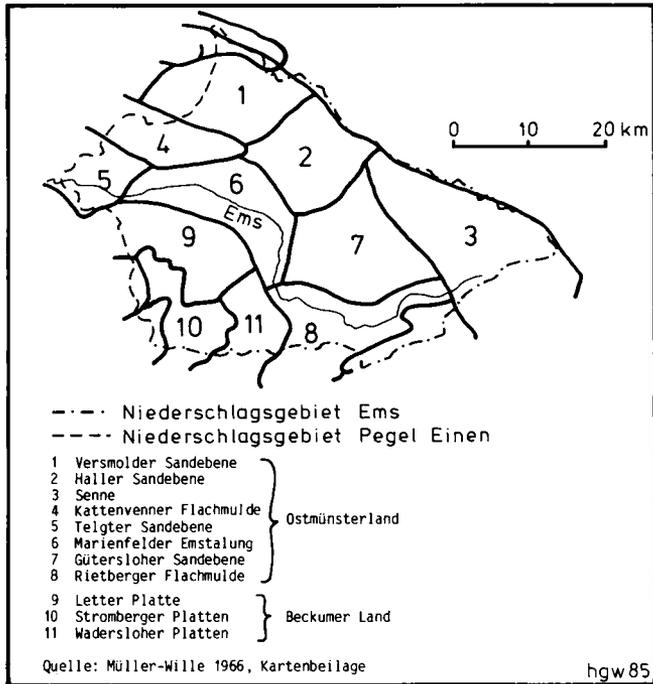


Abb. 5: Naturräumliche Einheiten im Untersuchungsgebiet

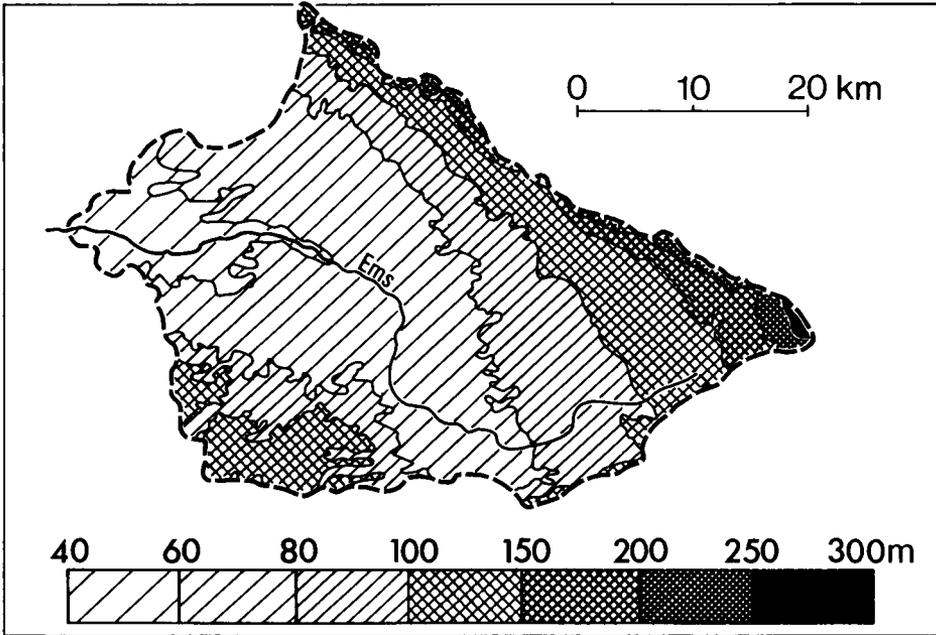


Abb. 6: Höhenschichten im Untersuchungsgebiet
(nach Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen)

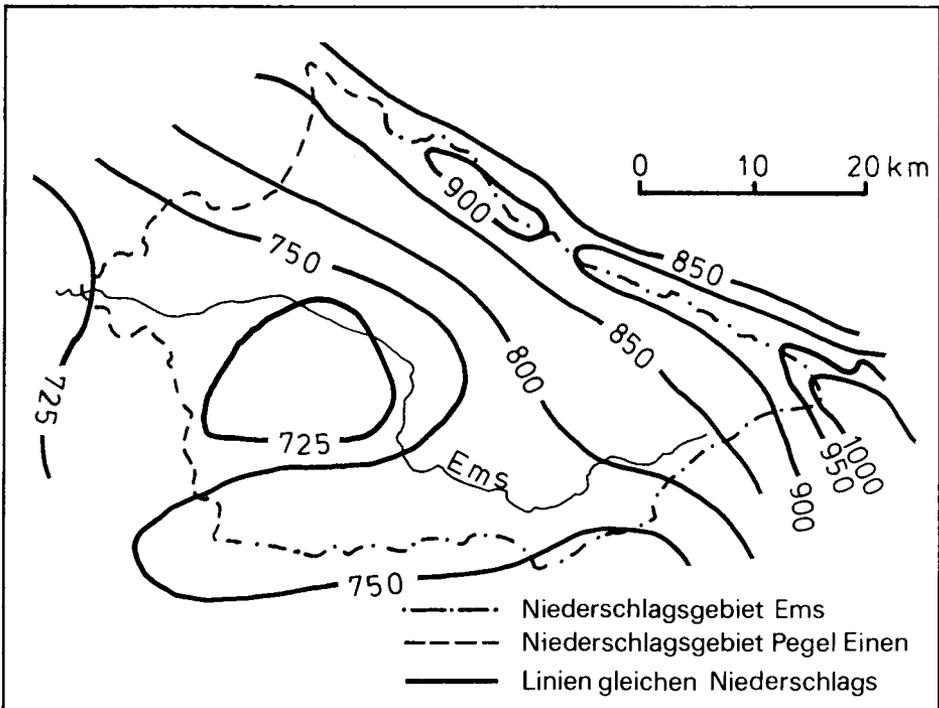


Abb. 7: Niederschläge im Untersuchungsgebiet
(Quelle: Landesamt f. Wasser u. Abfall)

geologischen Zeiträumen. Zur Kreidezeit folgte das Meer der Land-senkung bis zum Nordrand des Sauerlandes und lagerte Schichten verschiedener Mächtigkeit und Konsistenz ab, die in der anschließenden Saxonischen Faltung an den nördlichen und östlichen Rändern aufgebogen wurden und somit eine nach Westen hin offene Schüssel darstellen. Erosion modellierte anschließend aus den verschieden widerstandsfähigen Gesteinen eine Schichtstufenlandschaft heraus ("Schichtstufenbecken" nach MÜLLER-WILLE³⁾). Die Ems fließt an der Südgrenze des weichen, wasserundurchlässigen Emschermergels, der zur Bildung von Hohlformen und Senken neigt (Rietberger und Kattenvenner Flachmulden, vgl. Abb. 5). Südlich reicht das Untersuchungsgebiet in die härteren Senon-Schichten der Beckumer Berge als Teil des Kernmünsterlandes.⁴⁾ Die sichtbaren Oberflächenformen sind im Zusammenspiel mit diesen Untergrundverhältnissen vor allem ein Produkt der Eiszeit, wobei allein die Saale-Gletscher die Westfälische Bucht bedeckten; die nachfolgende Weichsel-Eiszeit dagegen trug nur durch periglaziale Einflüsse zur Reliefbildung bei. Charakteristisch für das obere Emsgebiet sind bis zu 30 m mächtige Sandablagerungen, die das Emstal begleiten und in der Senne z.T. zu Dünen aufgeweht wurden. Stellenweise treten stark sandige saale- oder rißeiszeitliche Geschiebelehmreste zutage, vor allem zwischen den Talungen der Emszuflüsse. In lehmig-tonigerer Ausprägung finden sie sich an den Hängen der Beckumer Berge.⁵⁾

Die weite Öffnung der Bucht nach Westen läßt den ozeanischen Einfluß auf das Klima voll wirksam werden. Das Untersuchungsgebiet gehört zum subatlantischen Typ mit relativ kühlen Sommern, milden Wintern und reichlichem, über das ganze Jahr verteilten Niederschlag (Maximum im Sommer aufgrund der ergiebigen Konvektionsregen). An der Station Gütersloh, ungefähr in der Mitte des Gebiets, liegt die Jahresmitteltemperatur bei $9,2^{\circ} \text{C}$ ⁶⁾ und sinkt selbst im Januar im Durchschnitt nicht unter 0°C .⁷⁾ Nach Osten, zum Anstieg des Teutoburger Waldes und der Egge hin, ist entsprechend der Höhenlage eine abnehmende Tendenz feststellbar. Die Niederschläge verhalten sich umgekehrt, wie Abb. 7 zeigt. Luveeffekte des Lippischen Berglandes und des Osningzuges sind bis weit in

die Bucht spürbar. Von 720 mm bei Warendorf⁸⁾ steigen die Werte auf 800-900 mm in der Senne.⁹⁾ Lee-Effekte (-40 mm im Emstal) bewirken dagegen schon die Beckumer Berge, die sich den vorherrschenden Südost- bis Südwestwinden in den Weg stellen.¹⁰⁾

Entsprechend den geologischen, morphologischen und klimatischen Vorbedingungen haben sich die Böden entwickelt. Auf Sand herrschen nährstoffarme Podsole bzw. bei Grundwassereinfluß Gleypodsole vor, in feuchten Niederungen auch Gleye und Anmoorgleye.¹¹⁾ Günstiger sind die Bedingungen am Rand und in den Beckumer Bergen selbst, wo kleinräumig schwere tonig-lehmige Kleiböden mit sandigeren Arten wechseln.¹²⁾ So bestand die ursprüngliche Vegetation vornehmlich aus Eichen-Birkenwald und Buchen-Eichenwald auf den lehmigeren Standorten zwischen den Flußtälern und in den Beckumer Bergen sowie aus Eichen-Erlen- und Auewäldern in den feuchten Flußtalungen.¹³⁾ In der Senne nimmt MÜLLER-WILLE aufgrund des ungünstigeren Bodenwasserhaushaltes (in Augustdorf z.B. mußten Brunnen bis 32 m tief zum Grundwasserspiegel gebohrt werden¹⁴⁾) auch Heide als ursprüngliche Vegetation an, während sie im allgemeinen erst durch die Bewirtschaftung des Bodens entsteht.¹⁵⁾

Landwirtschaftliche Nutzung und Forstwirtschaft (vor allem Kieferpflanzungen) haben davon allerdings nicht viel belassen. Baumgruppen, Wiesen, Äcker mit eingestreuten Einzelhöfen und kleine Dörfer bestimmen heute weite Teile des Untersuchungsgebietes. SCHREPFER beschreibt die Westfälische Bucht als eines der reinsten Agrargebiete der Bundesrepublik.¹⁶⁾ BECKS kennzeichnet die im Kreis Warendorf liegenden westlichen Teile des Untersuchungsraumes als "agrare Produktivregion" mit hohem Mastschweineanteil. Im Osten, fast den gesamten Kreis Gütersloh umfassend, bedingt eine immer noch kleinbetriebliche Struktur mit hohem Grünlandanteil und Milchviehhaltung ein unterdurchschnittliches Einkommen der Landwirte, so daß BECKS dieses Gebiet als "Problemregion" einstuft.¹⁷⁾ Aussagen über die Bevölkerungs- und Erwerbsstruktur werden dadurch erschwert, daß das Untersuchungsgebiet sich keiner geschlossenen statistischen Erhebungseinheit zuordnen läßt. Der Kreis Gütersloh ist zwar bis auf kleine Randbezirke fast voll-

ständig darin enthalten, hinzu kommen jedoch die Nordhälfte des Kreises Warendorf, Teile der Stadt Bielefeld und der nordwestliche Zipfel des Kreises Paderborn. Davon ausgehend läßt sich die Bevölkerungszahl auf ca. 500 000¹⁸⁾ schätzen, was einer Dichte von 334 Einwohnern pro Quadratkilometer entspricht. Die Verteilung ist allerdings sehr ungleichmäßig. Großen, dünn besiedelten Flächen stehen zwei Verdichtungsachsen gegenüber. Die bedeutendere erstreckt sich entlang der Autobahn von Oberhausen nach Hannover mit den Städten Rheda-Wiedenbrück - Gütersloh - Bielefeld.¹⁹⁾ Die zweite, schwächer ausgeprägte, hat sich unter dem Einfluß des Oberzentrums Bielefeld entlang der B 68 am Südhang des Teutoburger Waldes von Schloß Holte-Stukenbrock über Sennestadt - Brackwede - Steinhagen bis nach Halle entwickelt.²⁰⁾

2.2 Die Ems von der Senne bis zum Dollart

In einem 8-18 m tief in die Sennesande eingeschnittenen, feuchten Wiesental entspringt die Ems in 134 m Höhe etwa vier Kilometer nordöstlich von Hövelhof. Bis zur Mündung in den Dollart fließt sie 370 km durch das nordwestdeutsche Tiefland und sammelt dabei die Niederschläge ihres insgesamt 12 672 km² großen Einzugsgebietes (vgl. Abb. 1). Seinem Charakter nach läßt sich der größte nordwestdeutsche Tieflandsfluß in drei Abschnitte teilen: Die Obere Ems, deren Verlauf bis Eimen das Untersuchungsgebiet bildet, reicht bis zu einer harten Kalkschwelle bei Rheine, einem Ausläufer des Teutoburger Waldes, an der das schon verflachte Gefälle noch einmal ansteigt. Die Mittlere Ems verbreitert nach diesem Engpaß langsam wieder ihr Tal, um ohne scharfe Begrenzung bei Meppen, nach Aufnahme ihres größten Zuflusses, der Hase, in die Untere Ems überzugehen. Bei sehr geringem Gefälle (0,04 ‰) legt sie den letzten Abschnitt bis zur Mündung in einer mehrere Kilometer breiten, von Sommerdeichen durchzogenen Talaue zurück. Der weite Mündungstrichter läßt den Tideeinfluß bis südlich von Papenburg wirksam werden.²¹⁾ Ab Rheine ist die Ems schiffbar, ab Papenburg auch für kleinere Seeschiffe.²²⁾

Nur auf den ersten Kilometern hat die Ems ein Tal eingeschnitten, das -wie in der Vergangenheit mehrfach geschehen- bei extremen Niederschlägen rückschreitend erodiert.²³⁾ Etwa am Schnittpunkt mit der B 68 tritt sie, wie auch die ihr von Norden zufließenden Sennebäche, bei ca. 110 m ü. NN von der "trockenen" in die "nasse" Senne über.²⁴⁾ Das Gelände verflacht, die Fließgeschwindigkeit verringert sich und der mitgeführte Sand wird z.T. in einem derartigen Ausmaß abgelagert, daß sich z.B. der Furlbach vor Regulierungsmaßnahmen bis zwei Meter über das Gelände erhoben hatte.²⁵⁾ Über die Ufer getretenes Hochwasser konnte somit nicht zurück in den Vorfluter.

Da zu Beginn des Jahrhunderts Landwirte nach eigenem Gutdünken die Bachläufe zur Flutung ihrer Wiesen anstachen, waren weitere unregelmäßige Vorflutverhältnisse die Folge: Die Bäche fielen in ihren Mittelläufen zeitweise trocken, das Wasser floß in blind-endende neue Vorfluter und führte in Senken zur Versumpfung. Mit ersten Regulierungsarbeiten wurde ab der Mitte des 19. Jahrhunderts begonnen.²⁶⁾ Notwendig wurden diese vor allem auch in der Mastholter Niederung ("Mastholter Bifurkation"²⁷⁾ nordöstlich von Lippstadt), in der die Flußgebiete von Ems und Lippe nicht klar getrennt waren, so daß bei Hochwasser die Ems teilweise ins Lippegebiet übertrat. Im Osten und Norden dagegen sorgt der Teutoburger Wald für eine klare Wasserscheide, desgleichen im Südwesten das Plateau der Beckumer Berge. Die zahlreichen Bäche, die der Ems von Norden zufließen, entspringen in bis zu 230 m Höhe und folgen der allgemeinen Geländeneigung nach Südwesten oder Westen, wobei vor allem die Sennebäche oft weite Strecken parallel zur Ems zurücklegen (Sennebach, Wapelbach, Ölbach u.a.). Entsprechend der Lage in reliefarmem Flachland (der Pegel Rheine liegt nur noch 24 m ü. NN²⁸⁾) treten Bifurkationen auch im weiteren Verlauf auf. So zwischen Hessel und Bever und im Bourtanger Moor, wo die Wasserscheide durch Kultivierungsmaßnahmen praktisch dem Grenzverlauf zwischen den Niederlanden und der Bundesrepublik angepaßt worden ist.²⁹⁾

Nicht allein zur Schaffung einer geregelten Vorflut, sondern vor

allem auch zur Eindämmung der verheerenden Auswirkungen der Sommerhochwasser auf die Landwirtschaft sind weite Strecken der Ems ausgebaut worden. Bis zum Pegel Eimen ist dabei der gesamte Lauf (ausgenommen die ersten Kilometer hinter der Quelle) begradigt und eingefaßt worden.³⁰⁾ Vor dem großen Ausbau in den 1930er Jahren waren seit 1852 zwar schon 26 Entwürfe und Teilentwürfe für diese Strecke aufgestellt worden, wegen der enormen Kosten blieben aber viele Pläne im Ansatz stecken. Ersatzweise hatte man Talgräben gezogen, die jedoch keine durchgreifende Verbesserung der Abflußsituation herbeiführen konnten.³¹⁾ Dies gelang erst durch den umfassenden Ausbau ab 1935. Bis Kriegsbeginn waren 85 der 111 geplanten Kilometer flußabwärts bis Schöneflieth bei Greven für zehn Millionen Reichsmark reguliert. Ziel war dabei nicht eine absolute Hochwasserfreiheit, sondern in erster Linie eine schadlose Abführung der sommerlichen Fluten, die zuvor fast alle zwei Jahre die Wiesen überschwemmten und eine Nutzung beinahe unterbanden.³²⁾ Auch die Emszuflüsse wurden in den letzten Jahrzehnten in zahlreichen Flurbereinigungsverfahren ausgebaut. Für die Wasserkraftnutzung hatte dies allerdings negative Folgen. Vor allem an der Ems selbst wurden dadurch fast alle Mühlen abgebunden; mindestens 13 waren vorher noch in Betrieb.³³⁾ Im gesamten Oberen Emsgebiet bis Rheine dürften es ehemals etwa 200-250 gewesen sein.

2.2.1 Der Abfluß nach langjähriger Beobachtung

Neben der Fallhöhe ist die Abflußmenge der entscheidende Faktor für die Leistung und Jahresarbeit der Kleinwasserkraftwerke. Im Gegensatz zur einfach meßbaren Höhe ist sie jedoch keine feste Größe. Nur durch Messungen an dem jeweiligen Projektort und/oder von langjährigen Mitteln benachbarter Pegel lassen sich die notwendigen Annahmen zur Bestimmung der Ausbauleistung und der zu erwartenden Energieausbeute gewinnen. Die Abflußmenge wird von einer Vielzahl von Einflüssen bestimmt: Niederschläge und Verdunstung spielen eine große Rolle, daneben sind aber auch der geologische Aufbau des Untergrundes, die Bodenbeschaffenheit, die Wasserentnahme, der Anteil der versiegelten Flächen u.a.m.

von Bedeutung. Schwankungen des Wasserstandes treten in verschiedenen Größenordnungen stündlich, täglich, jährlich und -besonders mißlich für zuverlässige Mittelwerte- auch in Jahrzehnte überspannenden Zyklen auf.³⁴⁾

Pegel auf den ersten Kilometern der Ems und der Sennebäche (u.a. Furl-, Wapel-, Ölbach) registrieren einen sehr konstanten, fast nur aus dem Grundwasser gespeisten Abfluß (Tab. 1). Aber schon am Pegel Rheda ändert sich das Bild. Gemittelt von 1951 bis 1980 klaffen das Mittlere Niedrigwasser (MNQ), Mittelwasser (MQ) und das Mittlere Hochwasser (MHQ) im Verhältnis von 1 : 7,5 : 65 auseinander.³⁵⁾ Die Unterschiede dieser drei Werte am Pegel Eimen zeigt Abb. 8. Aus dem mittleren monatlichen Verlauf des Abflusses werden sowohl das Abflußregime selbst als auch einige bestimmende Faktoren deutlich. Dem ozeanischen Klima entsprechend mit hohen Niederschlägen im Winter und Sommer sowie wegen der hohen Evapotranspiration während der Vegetationsperiode wird die Ems dem pluvialen Abflußregime mit einem Wintermaximum zugeordnet.³⁶⁾

Im Herbst und im ersten Teil des Winters werden die Grundwasservorräte durch reichlichen Regen bei geringer Verdunstung ergänzt. Schon Anfang Februar sind sie in der Regel gefüllt: der Einsickerungsraum darüber ist bereits Ende November/Anfang Dezember gesättigt. Was ab Januar/Februar noch an Niederschlag fällt, kommt ungeschmälert dem Abfluß zugute, so daß hier im jährlichen Mittel das Monatsmaximum liegt, wie aus Abb. 8 deutlich hervorgeht. Mit Beginn der Vegetationsperiode und steigenden Temperaturen nimmt die Verdunstung zu. Regen in gewöhnlichen Mengen wird gleich verbraucht, und die Grundwasservorräte werden langsam vermindert. Die Abflußmenge sinkt bis zum tiefsten Grundwasserstand im August/September, um dann langsam wieder zu steigen.³⁷⁾ Die kleine Julispitze läßt sich aus dem Maximum der Niederschläge in diesem Monat in Verbindung mit langanhaltenden feuchten Sommerperioden erklären, die gerade zu dieser Zeit zu Sommerhochwasser führen können.

Der tatsächliche Witterungs- und Abflußverlauf einzelner Jahre ist jedoch wesentlich komplizierter als das beschriebene Durch-

Tabelle 1 Mittlere Abflüsse (l/s) und Abflußspenden (l/s/qkm) ausgewählter Pegel und Meßstellen im Untersuchungsgebiet. Die Nummern entsprechen denen in Abb. 32 (Beilage)

Nr.	Wasserlauf	Pegelname	Art	Betrieb seit/bis	Mittel- Periode	Einzugs- gebiet	MQ	MNQ	MHQ	SMQ	WMQ	Mq	MNq	MHq	WMq
1	Ems	Km1/Ems ¹⁾	Schreibpegel Einzelmessung	ab 5.2.82 seit 1950	1983	5,9 qkm	63	50	70	60	65	10,7	8,5	11,9	11,0
2	Ems	Hövelhof/Ems	Schreibpegel	seit 1949	1959-80	9,5 qkm	120	90	180	120	125	13,3	10,0	20,0	13,9
3	Ems	Espeln/Ems	Schreibpegel	seit 1949	1959-80	40,1 qkm	525	128	2730	399	650	13,1	3,2	68,1	16,2
4	Ems	Steinhorst/Ems	Schreibpegel	seit 1972	1972-82	98,8 qkm	988	383	4380	773	1210	10,0	3,9	44,3	12,2
5	Ems	Rheda/Ems	Schreibpegel	seit 1951	1951-80	335,0 qkm	3240	430	14900	2070	4440	9,7	1,3	83,6	13,3
6	Ems	Einen/Ems	Schreibpegel	seit 1946	1946-80	1499,0 qkm	3800	1960	10900	8190	19400	9,2	1,3	72,7	12,9
7	Schwarzew.	Espeln/Schwarzewasser	Lattenpegel	seit 1949	1966-83	20,4 qkm	275	60	2000	200	1800	13,5	2,9	98,0	88,2
9	Furlbach	Tütgermühle/ Furlbach	Schreibpegel	seit 1980	1980-83	0,9 qkm	30	20	35	30	30	34,1	22,7	39,8	34,1
10	Furlbach	Stukenbrock I/ Furlbach	Schreibpegel	seit 1969	1970-80	18,7 qkm	134	100	186	132	135	7,2	5,4	10,0	7,2
11	Furlbach	Stukenbrock II/ Furlbach	Schreibpegel Einzelmessung	seit 1975	1975-83	40,2 qkm	270					6,7			
12	Furlbach	Storchenkrug/ Furlbach	Einzelmessung	seit 1975	1975-83	44,5 qkm	360					8,1			
13	Furlbach	Hövelriege/ Furlbach	Schreibpegel	seit 1938	1939-80	46,6 qkm	462	267	772	449	474	9,9	5,7	16,6	10,2
14	Sennebach ²⁾	Mittweg/Rahnke- bach	Schreibpegel Einzelmessung	seit 1983 seit 1981	1983	6,4 qkm		0	100				0	15,6	
15	Sennebach	Österwiehe/ Sennebach	Lattenpegel	seit 1949	1951-80	16,2 qkm	94	4	682	58	131	5,8	0,3	42,2	8,1
16	Sennebach	Westerwiehe/ Sennebach	Schreibpegel Einzelmessung	1949-56 seit 1956	1951-55	25,9 qkm	240	13	2240			9,3	0,5	86,5	
17	Wapelbach	Kaunitz/Wapel- bach	Schreibpegel	seit 1949	1951-80	11,4 qkm	209	46	966	153	265	18,3	4,0	84,7	23,2
18	Wapelbach	Schledebrück/ Wapelbach	Schreibpegel	seit 1959	1961-80	64,8 qkm	692	72		431	999	10,7	1,1		15,4
19	Ölbach	Bokelmeier/ Ölbach	Schreibpegel	seit 11/82	1983	5,4 qkm	65	40	110	60	70	12,0	7,4	20,4	11,1
23	Ölbach	Stukenbrock/ Ölbach	Schreibpegel	seit 1933	1946-80	16,8 qkm	226	109	572	202	250	13,5	6,5	34,0	14,9
24	Ölbach	Schloß Holte/ Ölbach	Schreibpegel	seit 1978	1978-83	17,5 qkm	320	125	950	270	370	18,3	7,1	54,3	21,1
25	Ölbach	Sende/Ölbach	Schreibpegel	seit 1978	1978-83	19,2 qkm	380	180	1523	300	460	19,8	9,4	79,5	24,0
26	Ölbach	Verl/Ölbach	Schreibpegel	seit 1949	1951-80	45,1 qkm	635	119	2822	471	800	14,1	2,6	62,6	17,7
27	Ölbach	Schledebrück/ Ölbach	Schreibpegel	seit 1959	1961-80	68,8 qkm	830	164		600	1130	12,1	2,4		16,4
28	Menkebach	Lipperreihe/ Menkhäuser Bach	Schreibpegel	seit 1932	1936-80	4,3 qkm	97	25	349	72	122	22,3	5,8	80,4	28,1
29	Dalke	Avenwedde/Dalke	Schreibpegel	seit 1938	1951-80	40,4 qkm	363	121	1833	278	447	9,0	3,0	45,3	11,1
30	Dalke ³⁾	Gütersloh/Dalke	Schreibpegel												
31	Reiherbach	Senne I/Reiherb.	Schreibpegel	seit 1938	1941-80	6,2 qkm	82	23	285	67	97	13,2	3,7	46,0	15,6
33	Hessel	Milte/Hessel	Schreibpegel	seit 1970	1970-80	196,0 qkm	1840	330	14800	1100	2600	9,4	1,7	75,5	13,3

1) Bis 1956 erheblich mehr Abfluß, etwa 80 - 100 l/s, sehr geringe Schwankungen seit 1959/60.

2) Quelle liegt im Gegensatz zu anderen Sennebächen in einem Feuchtgebiet, große Abflußschwankungen, im Sommer oft trocken.

3) Pegelwerte werden derzeit beim StAWA Minden überarbeitet und lagen bei Abschluß der Arbeit noch nicht vor.

Mittlerer Abfluß = MQ, MNQ = bei Niedrigwasser, MHQ = bei Hochwasser, SMQ = im Sommer, WMQ = im Winter

Mittlere Abflußspende : Mq, MNq = bei Niedrigwasser, MHq = bei Hochwasser, WMq = im Winter

Quellen: Unterlagen StAWA Münster, Minden; Gewässerkunde Senne, Sennestadt

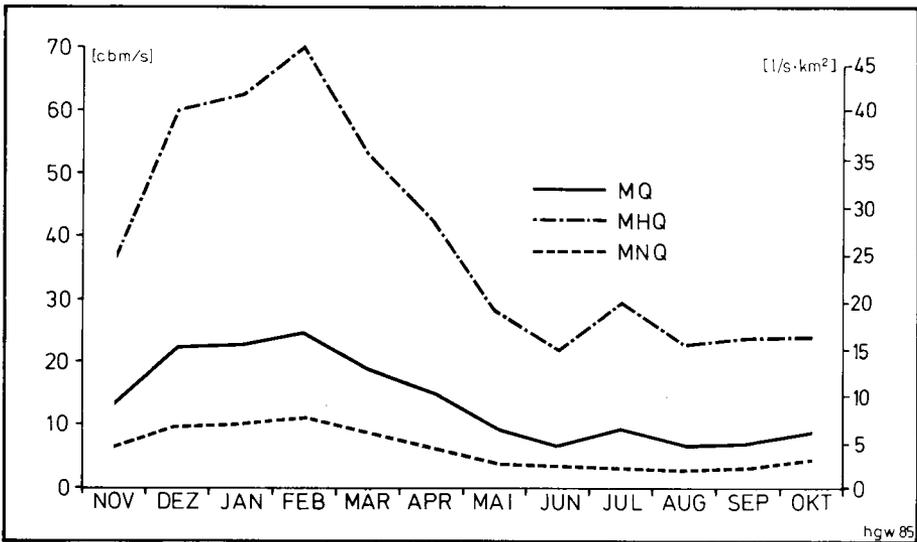


Abb. 8: Mittlere monatliche Hoch-, Mittel- u. Niedrigwasserabflüsse am Pegel Eiben 1946-1980
(Quelle: Dt. Gewässerkundl. Jb. 1983:252)

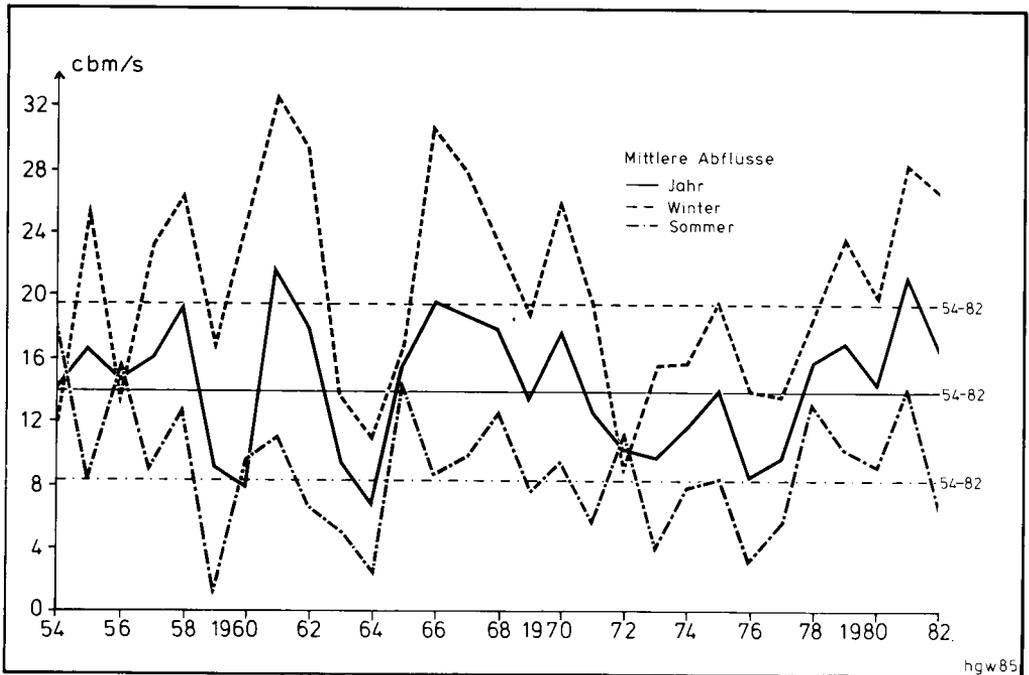


Abb. 9: Mittlere Jahres-, Winter- u. Sommerabflüsse am Pegel Eiben 1954-1982
(Quelle: Dt. Gewässerkundl. Jahrbücher)

schnittsjahr.³⁸⁾ So kann z.B. ein nasser Sommer wegen der an seinem Ende noch hohen Grund- und Bodenwasservorräte zu einem höheren Winterabfluß als normal führen, umgekehrt aber ein besonders nasser Winter nicht zu einem höheren Sommerabfluß, da der Speicherraum begrenzt ist.³⁹⁾ Abb. 9 dokumentiert dies in mehreren Fällen und verdeutlicht die großen Abweichungen der Einzeljahre gegenüber einer langjährigen Mittelung. Unschwer ergibt sich daraus die besondere Problematik einer Abflußvorhersage für Kleinwasserkraftwerke. Trotzdem bleibt in der Praxis nur die Hoffnung auf die Zuverlässigkeit möglichst langer Mittelungsperioden. Der Durchschnittsabfluß läßt sich auch aus der auf eine vieljährige Beobachtungszeit begründeten Wasserhaushaltsgleichung erhalten: Für den Zeitraum 1958-1980 wurde für das Untersuchungsgebiet ein jährlicher durchschnittlicher Gebietsniederschlag von 750 mm ermittelt. Davon fließen 293 mm (= 440 Mio. cbm) durch die Ems ab. Da man bei dieser langfristigen Betrachtung die Speicherkomponente (R - B) der Wasserhaushaltsgleichung $A - N - V - (R - B)$ vernachlässigen darf,⁴⁰⁾ verbleiben 457 mm für die Gebietsverdunstung.⁴¹⁾ Aus ihrer Größenordnung wird der überragende Einfluß der Verdunstung (neben dem des Niederschlags) auf den Abfluß deutlich. Sie ist aber auch der schwierigste exakt zu bestimmende Faktor, denn die Evapotranspiration variiert in weiten Grenzen monatlich und jährlich mit wechselnder Witterung sowie flächenhaft entsprechend Bodenbeschaffenheit und Bewuchs. Die einfache Errechnung über die Wasserhaushaltsgleichung reicht aber in der Genauigkeit für die Zwecke dieser Untersuchung, zumal sie nur geringfügig von den Ergebnissen anderer Autoren, bezogen auf das gesamte Gebiet der Oberen Ems, abweicht.⁴²⁾

Wenn das Speicherglied (R - B) auch für das Gesamtgebiet vernachlässigt werden durfte, ist dies für die Oberläufe der Bäche nicht zulässig. Die Senne ist ein überregional bedeutendes Wassergewinnungsgebiet mit intensiver und stetig ansteigender Nutzung (Abb. 10) vor allem für die Räume Bielefeld und Paderborn. 130 Mio. cbm werden in der Senne im Mittel pro Jahr an Grundwasser neu gebildet. Etwa die Hälfte davon ist nutzbar, wovon wiederum etwa die Hälfte (28 Mio. cbm) laut Wasserrecht entnommen wer-

den darf. Obwohl die Rechte noch nicht ganz ausgeschöpft werden, zeigen sich deutlich negative Auswirkungen auf die Landwirtschaft und die Abflußmenge der Bäche. Mühlenbesitzer in diesem Raum beklagten sich bei der Befragung über den etwa um die Hälfte verminderten Abfluß. Verrieselung von Abwasser als Ausgleich für die Entnahme wird wegen der ungenügenden Reinigung und der Schwermetallbelastung nur in kleinem Rahmen durchgeführt. 1977 wurden aus dem Ölbachgebiet 2,21 Mio. cbm (zurück 73 %) und vom Furlbach 3,4 Mio cbm (zurück 2 %) entnommen, was am Pegel Hövelriege (Furlbach) den Abfluß um 40 % verminderte.⁴³⁾

Eine leichte Besserung ist nach Angaben der Mühlenbesitzer in den letzten Jahren seit der Inbetriebnahme von Tiefbrunnen zu bemerken.⁴⁴⁾ Leichte positive Aspekte ergeben sich auch in den Mittelläufen durch die Kläranlagen-Zuflüsse, die etwa 70 % des gewonnenen Wassers in die Gewässer zurückführen⁴⁵⁾ und damit vor allem in Niedrigwasserzeiten eine ausgleichende und erhöhende Wirkung haben. Da die Ems ohnehin schon in Trockenperioden unter sehr geringer Niedrigwasserführung leidet, sind der Wasserförderung Grenzen gesetzt. SCHROEDER fordert als Mindestabfluß am Pegel Rheine 4,1 cbm (= 1,1 l/s/km²). Aber selbst dieser Wert wird häufig noch unterschritten.⁴⁶⁾ Das mittlere, jeweils über sieben Tage gemittelte Niedrigwasser für die Periode 1881-1940 hat SPERLING zwar mit 1,4 l/s/km² ebenfalls am Pegel Rheine ermittelt⁴⁷⁾, dieser Durchschnittswert verwischt jedoch die beträchtlichen Unterschiede im Untersuchungsgebiet. Die aus ergiebigen Grundwasservorräten gespeisten Sennebäche einschließlich der Ems erreichen eine mittlere Niedrigwasserspende von 6 l/s/km².⁴⁸⁾ In der Ems wurden in der Trockenperiode 1969-60 noch 8,55 l/s/km² am Pegel Hövelhof in der Senne (Nr. 2 in Abb. 32, Beilage) gemessen, aber nur noch 0,09 l/s/km² am Pegel Rheda (Nr. 5). Der Wasserverlust von 99 % ist vor allem auf die dazwischen liegenden Bewässerungswiesen zurückzuführen. Da heute das "Flößen" der Wiesen weitgehend aufgegeben worden ist, sind diese Verluste geringer geworden.⁴⁹⁾

Die Auswertung von Niederschlags- und Abflußreihen von 1853 bis 1959-60 zeigt, daß in jedem dritten bis vierten Winter und jedem

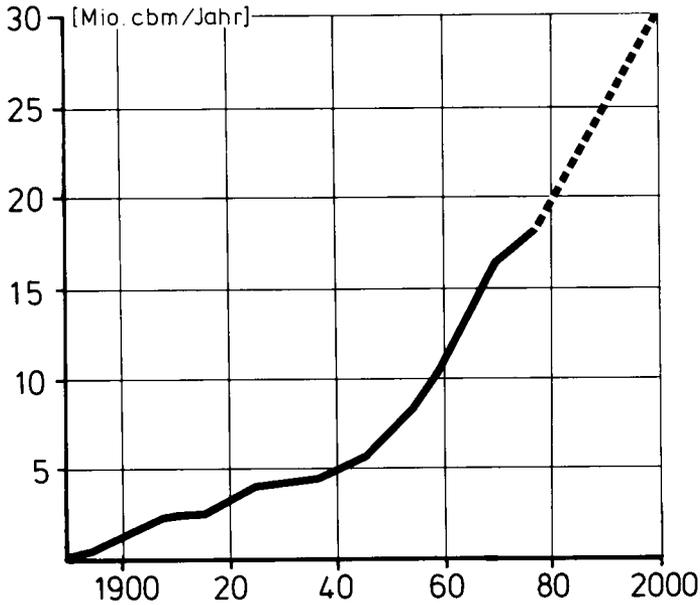


Abb. 10: Wasserförderung der Stadtwerke Bielefeld 1890-1976 und Prognose (Quelle: BAUER/WYRWICH 1981:30f.)

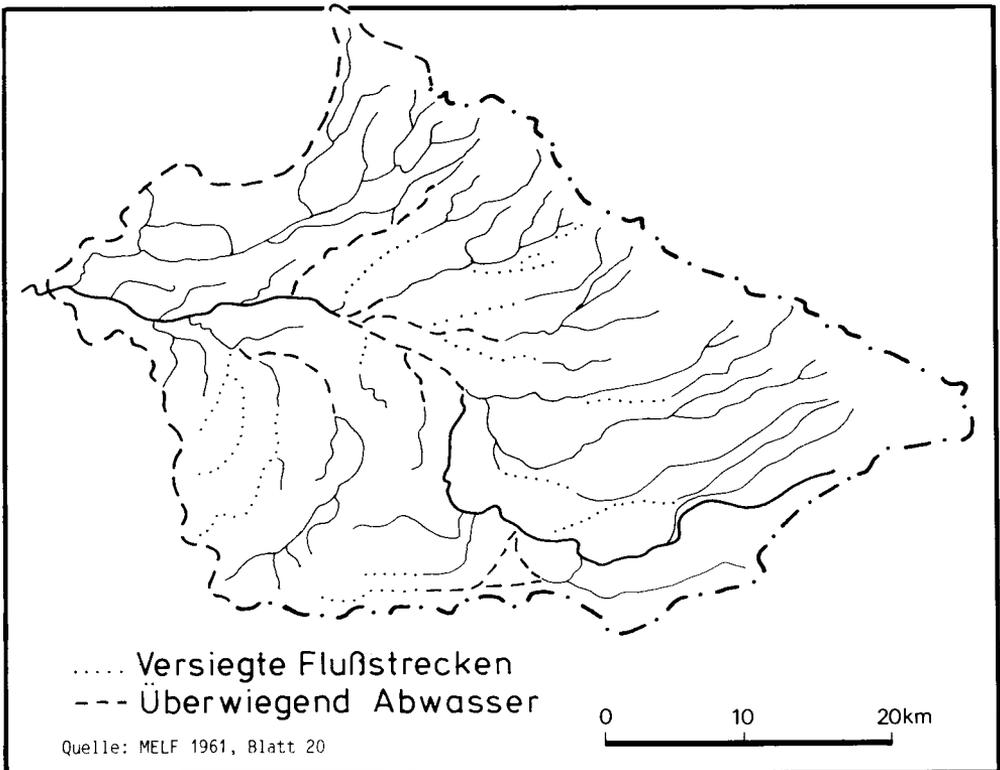


Abb. 11: Versiegte Wasserläufe im Trockenjahr 1959-60 (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Münster, Bl. 20)

sechsten Sommer mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen gerechnet werden muß. Entscheidend ist der geringe Winterniederschlag wegen der mangelnden Wasservorräte für den Sommer. Dann kann Niedrigwasser schon im Juni/Juli auftreten und bei weiterhin geringen Niederschlägen und frühem Frost auch bis in den November/Dezember reichen. Auch ein kalter Winter kann zu einer Verringerung des Abflusses führen, aber nicht in dem Ausmaße wie ein trockener Sommer.⁵⁰⁾ In extremen Trockenperioden können etliche Bachläufe oder Abschnitte versiegen bzw. nur noch von Abwasser gefüllt sein (Abb. 11). Insgesamt ergibt sich daraus, daß im Sommer häufig mit z.T. längeren Stillstandsperioden der Kleinwasserkraftwerke gerechnet werden muß. Nur die Anlagen in der "trockenen" Senne werden kontinuierlich betrieben werden können sowie einige Werke in Unterläufen von Bächen mit u.a. durch Abwasserzuführung bedingtem relativ konstantem Abfluß (z.B. die Dalke in Gütersloh, der Ölbach bei Gut Schledebrück, Anlage Nr. 68; Anlagen-Numerierung vgl. Tab. 9 u. 10, Anhang und Abb. 32, Beilage).

Zu Ausfallzeiten kann es ebenso durch das andere Extrem, Hochwasser, kommen, jedoch beschränkt sich dies in der Regel auf eine kurze Zeit. Vor allem Westwetterlagen bringen die ergiebigen Niederschläge, die zu extremen Abflüssen führen.⁵¹⁾ Wie Tab. 2 zeigt, treten erwartungsgemäß mehr Hochwasser im Winter als im Sommer auf. Die Hochwasser der Oberen Ems sind dabei an bestimmte Vorbedingungen geknüpft, da wegen der überwiegend durchlässigen Böden der Oberflächenabfluß auch bei stärkeren Niederschlägen gering bleibt. Voraussetzung ist vor allem ein gefüllter Bodenvorrat, weil dann der Regen nicht mehr einsickern kann. Deswegen häufen sich die Hochwasser im Februar, wenn der Grundwasservorrat und der darüber liegende Einsickerungsraum gefüllt sind. 1946 wurde in diesem Monat der höchste bekannte Abfluß an der Ems gemessen mit 85 cbm/s (= 254 l/s/km²) am Pegel Rheda und 412 cbm/s (= 275 l/s/km²) am Pegel Einen, was einem Verhältnis Niedrig- zu Hochwasser von 10: 2822 (Rheda) bzw. 1 : 1100 (Einen) entsprach.⁵²⁾ Das Grundwasser in einem Meßbrunnen in Bielefeld-Ummeln stand zu dieser Zeit nur noch 30 cm unter Gelände, und

Tabelle 2 Monatliche Verteilung der großen Hochwasser der Ems im Zeitraum 1941 - 1969

Monat	Anzahl
November	2
Dezember	10
Januar	9
Februar	10
März	4
April	-
Mai	1
Juni	-
Juli	2
August	1
September	-
Oktober	-

Quelle: JOPPICH 1973, S. 24

der Boden war voll getränkt.⁵³⁾ Sommerhochwasser erreichen in der Regel nicht die Höhe der Winterabflüsse. Sie treten zumeist nach einem trockenen Jahr mit einer nachfolgenden, lang anhaltenden Nässeperiode auf, die stark vom mittleren Jahresgang abweicht.⁵⁴⁾ Auf entsprechende Vorkehrungen zur schadlosen Abführung von Hochwasser muß deshalb bei den Kleinwasserkraftwerken geachtet werden.

2.2.2 Ermittlung des Abflusses an den Kleinwasserkraftwerken

Für die Berechnung des Wasserkraftpotentials muß der Abfluß am jeweiligen Kleinwasserkraftwerk festgestellt werden. Wird für die Projektierung einer Einzelanlage dringend geraten, den Abfluß über mindestens ein Jahr zu messen, ist dieses Verfahren bei der hier vorliegenden Betrachtung von 365 bestehenden und ehemaligen sowie theoretisch neu errichtbaren Kleinwasserkraftwerken⁵⁵⁾ (vgl. Abschnitt 2.5.1) kaum praktikabel. Es bleibt nur die Möglichkeit, eine Berechnung über die Ermittlung der Größe

des Einzugsgebiets und der Abflußspende (Liter pro Sekunde und Quadratkilometer) vorzunehmen. Dieses Verfahren wird allgemein angewandt, um Abflüsse an anderen als den Pegelstandorten selbst festzustellen.

Im ersten Schritt wird das oberirdische Einzugsgebiet, auch "Niederschlagsgebiet" genannt, für jedes Kleinwasserkraftwerk anhand der Höhenlinien auf der TK 25 "Gewässerstationierung" kartiert (vgl. Abb. 32, Beilage).⁵⁶⁾ Die planimetrierten Einzelflächen werden entlang eines Baches aufaddiert. Wird dabei die Grenze eines im offiziellen Flächenverzeichnis⁵⁷⁾ ausgewiesenen Niederschlagsgebiets überschritten (z.B. an der Einmündung eines Nebenbachs), wird mit diesem Wert weiter gerechnet. Etwaige Ungenauigkeiten können sich so nur über wenige Anlagen fortsetzen und die Genauigkeiten des Planimetrierens dabei getestet werden. Die Abweichungen bewegen sich zwischen $\pm 5\%$, was in der Leistungsberechnung, in die als zweiter Faktor die Fallhöhe eingeht, eine Differenz von ca. $\pm 2\%$ verursacht. Da sowohl Über- als auch Unterschreitungen auftreten, darf mit einem Ausgleich über das Gesamtgebiet gerechnet werden. Der gewonnene Flächenwert für das jeweilige Kleinwasserkraftwerk erlaubt dann eine einfache Abflußberechnung. Der gemessene Abfluß am Pegel wird durch die Größe des Einzugsgebietes dividiert, um die Abflußspende zu erhalten. Diese wird mit dem Niederschlagsgebiet des Kleinwasserkraftwerks multipliziert. Das Ergebnis ist die Anzahl der Liter, die pro Sekunde dort abfließen. Die Problematik der Durchschnittswerte wurde bereits im vorangehenden Abschnitt deutlich. Entsprechend können durch die Methode der Abflußermittlung nicht immer die tatsächlichen Mengen errechnet werden, zumal oberirdische und unterirdische Einzugsgebiete oft verschieden groß sind. Ein Vergleich der berechneten mit den tatsächlichen Abflüssen folgt in Abschnitt 2.5.3 (Tab. 6).

2.3 Nutzung des Wasserkraftpotentials an der Oberen Ems früher und heute

Einer der ersten Schritte bei der Untersuchung eines Flußgebietes

auf die mögliche Wasserkraftnutzung ist die Erfassung der früheren und der gegenwärtigen Energieerzeugung.⁵⁸⁾ Aus den Standorten alter Anlagen und den Erfahrungen der Besitzer lassen sich Rückschlüsse auf die langjährigen Abflußverhältnisse und lokale Besonderheiten ziehen, die Einfluß auf potentielle neue Kleinstwasserkraftwerke haben könnten. Im Bereich der Oberen Ems ist z.B. die Häufung von Wassermühlen kurz hinter den Sennequellen auffällig, wo man eigentlich zu geringe Wassermengen vermuten würde - und ihr relatives Fehlen an den Mittelläufen. Die Erklärung liegt in den bereits beschriebenen geologischen und morphologischen Besonderheiten, die zu starken Quellschüttungen und zu einem teilweisen Versickern des Wassers einige Kilometer unterhalb führen; auch die Verflachung des Gefälles spielt hier eine Rolle.

Für das Untersuchungsgebiet insgesamt gesehen, übertrifft die Anzahl mit 152 gefundenen Anlagen weit das für ein flaches Gelände mit zusätzlich ungünstig schwankenden Abflüssen erwartete Maß. Damit entspricht das Obere Emsgebiet im übrigen jedoch genau dem Durchschnitt von 10 Anlagen pro 100 km², den KRÜMMEL in der Gewerbebeziehung von 1895 für mit Wasserkraft betriebene Gewerbebetriebe im Deutschen Reich feststellte.⁵⁹⁾ Im Gegensatz dazu steht allerdings die heutige Nutzung: Lediglich 19 Kleinstwasserkraftwerke werden noch, wieder oder in Kürze erneut betrieben, davon etliche jedoch nur zeitweise. Eine größere Anzahl steht bereits seit mehreren Jahrzehnten still (vgl. Abb. 15, Abb. 32, Beilage und Tab. 9 u. 10, Anhang).

Die aufgrund der geringen Anlagengrößen schon früh einsetzende, umfassende Stillegungswelle erschwert die Erfassung beträchtlich. Wesentlich lückenlosere Informationen wären noch vor 20-30 Jahren zu erhalten gewesen; inzwischen ist die Generation der alten Müller jedoch fast ausgestorben. Ihre Kinder als heutige Besitzer aber haben den Mühlenbetrieb häufig nur noch als schönes Jugenderlebnis im Gedächtnis und technische Daten sind weitgehend in Vergessenheit geraten.

Das in Abschnitt 1.3 bereits angedeutete allgemein relativ geringe Interesse an der Wasserkraft spiegelt sich auch in den topographischen Karten wider. Beim systematischen Absuchen der Wasserläufe nach Mühlensymbolen waren nur 71 Anlagen zu finden, was also nicht einmal der Hälfte der tatsächlichen Zahl entspricht. Weitere ca. 30-40 "verdächtige" Stellen sind vom Verf. markiert worden, an denen Teiche und Bachumleitungen, womöglich mit einer am unteren Ende überquerenden Straße, eine Mühlensituation bedeuten konnten. Zu etwa 90 % haben sich diese Vermutungen bestätigt. Der verbleibende Rest von rd. 50 Anlagen ist durch Gespräche mit Mühlenbesitzern, Hobby-Heimatforschern und durch Hinweise in den Wasserbüchern der Unteren Wasserbehörden gefunden worden. Die Symbole in der TK 50, die als Grundlage der Erfassung diente, bedeuten keineswegs, daß diese Mühlen im Gegensatz zu nicht eingezeichneten noch vorhanden sind. Längst abgebrochen, aber vermerkten Anlagen stehen existierende gegenüber, die fehlen! Nach der Kartieranleitung für topographische Karten ist das Wassermühlenzeichen zwar nur für Anlagen mit Wasserrad vorgesehen, aber auch unter diesem Aspekt kommen die Karten wegen der vielen Umbauten der Wirklichkeit nicht wesentlich näher.

Die tatsächliche Situation ist durch eine Bereisung des Gebietes aufgenommen worden. Nach dem in Abb. 12 wiedergegebenen Beispiel wurde für jede Anlage ein Erfassungsblatt angelegt. Die Mühlenbesitzer -etwa 120 sind aufgesucht bzw., wenn nicht angetroffen, telefonisch befragt worden- haben sich als sehr auskunftsbereit erwiesen, wissen jedoch, wie vorab erwähnt, oft nur noch wenig. Etwa ein Dutzend von ihnen äußerte Interesse an einer Reaktivierung der Anlage und hat z.T. auch bereits Berechnungen über die Wirtschaftlichkeit angestellt. Weit überwiegend wird jedoch die Meinung vertreten, daß eine Wiederinbetriebnahme ausgeschlossen sei. Hauptgrund neben der generellen Aussage, daß es sich nicht lohne, ist die Auffassung, daß überschüssiger Strom nicht verkauft werden könne. Die von den Energieversorgungsunternehmen 1981 eingegangene Verpflichtung, Elektrizität aus erneuerbaren Quellen ins Netz aufzunehmen, ist praktisch unbekannt; und selbst mit diesem Wissen ist die Skepsis groß, daß dies ohne besondere Schwierigkeiten möglich sei.⁶⁰⁾

ERFASSUNGSBLATT WASSERMÜHLEN

Mühle Nr.: 10/13		Name: Henkemühle	
A. Lage			
TK-50-Nr.: L 4116	H-Wert: 5746,100	R-Wert: 3473,100	Gewässer: Furlbach(311.29)
Ort: Hövelhof		Bauerschaft Neuenriege	
B. Besitzer			
Besitzer: N.N.			
Adresse:			
C. Gewässerdaten			
460 (berechnet)			
NQ: 0,0	MQ: 300 l/sec	HQ: 6,86 cbm/s	WMQ/Schluckvermögen: 624,52 l/s
Einzugsgebietsgröße: 47,12 qkm		Betriebsstunden '75: 6168	
Stau: x	Fassungsvermögen:	Mühlbach: x	KM des Laufs: 4,1
D. Technische Daten			
1) Wasserrad:	ober-:	mittel-:	unterschlächting:
Durchmesser:		Übersetzung:	
Zustand:			
2) Turbine: x	Bauart: Francis		Baujahr: um 1920
Leistung: 6 kW	Schluckvermögen: 400-500 l/sec		Fallhöhe: 2,90
Abgestellt seit:		Letzte Überholung: 1979	
Zustand: gut			
3) Übrige Anlagen: Wehr: gerade überholt			
Generator: Asynchromotor			
Sonstige: Mühlgebäude instandgesetzt			
E. Wasserrecht			
Eingetragen bei:	RP Detmold	seit:	
Berechtigt zu:	Stau		
F. Denkmalschutz			
Auflagen:		Förderung:	
Bemerkung:			
G. Bemerkungen			
Stromerzeugung seit Reaktivierung 162 000 kWh; pro Monat in 1984 3000 - 4000 kWh;			
Nutzung für Haushalt und Heizung; Überschub für ca. 5 Pf. an Pesag (600 - 700 kWh pro Monat); Mühle seit 1741 bewohnt, bis 1950 Getreidemühle; Investition bei viel Eigenleistung ca. 20 000 DM (15 000 DM für Schaltanlage); früher Abfluß im Mittel 400 -			
450 l/sec			

Abb. 12: Kopie eines Erfassungsblattes zur früheren und jetzigen Wasserkraftnutzung

In den Gesprächen sind auch mehrere Faktoren deutlich geworden, die eine Wasserkraftnutzung im Vergleich zu früher zumindest erschweren, in einigen Fällen wohl unmöglich machen:

- in der Oberen Senne vor allem Abflußverminderungen durch Wassergewinnung für Bielefeld (vgl. Abb. 10)
- stärkere Abflußschwankungen durch schnelleres Abführen des Niederschlags
- verstärkter Schwemmgutanfall am Rechen durch Müll im Bach bzw. mangelnde Unterhaltung der Wasserläufe
- Verlegung der Wasserläufe bzw. teilweises Ableiten des Wassers durch die Flurbereinigung
- Streit mit benachbarten Landwirten über die Stauhöhe, wenn Feuchtwiesen Äckern weichen sollen⁶¹⁾ und
- stärkere Versandung durch Abspülen von Äckern.

Insgesamt konnten nicht für alle Anlagen vollständige Informationen erhoben werden; dafür wären umfangreiche Archivforschungen notwendig geworden. Trotzdem ist eindeutig, daß die Wasserkraftnutzung weitgehend niederliegt und größtenteils nur mit beträchtlichem finanziellen Aufwand wieder aufzurichten ist (vgl. Bild 2-4). In zahlreichen Fällen kann sich das aber, wie noch gezeigt wird, dennoch lohnen. 86 Mühlgebäude bestehen noch, 37 sind abgebrochen und von 29 liegen keine Angaben vor, da ein Besitzer nicht zu ermitteln war und aus dem Augenschein nicht entschieden werden konnte, ob es sich um die ehemalige Mühle oder ein Nebengebäude handelt. 13 Mühlen werden für Wohnzwecke genutzt, sieben stehen leer und 66 werden als Stall, Scheune, Lagerschuppen oder -bei den betriebenen Anlagen- noch für den eigentlichen Zweck verwandt (Abb. 13). Bei den technischen Anlagen sieht es dagegen schlechter aus. Von den ehemals 57 Wasserrädern sind lediglich 14 noch vorhanden, davon drei funktionsfähig aber ungenutzt (Anlagen Nr. 12, 27, 112). Turbinen sind 19 in Betrieb (die älteste seit 1896!), acht stehen ungenutzt in ihren Schächten und 36 wurden ausgebaut bzw. mit Beton zugegossen. Die Wissenslücke ist hier mit 42 Anlagen ohne Angaben noch größer, da selbst die Art der Energienutzung vielfach in Vergessenheit geraten ist.

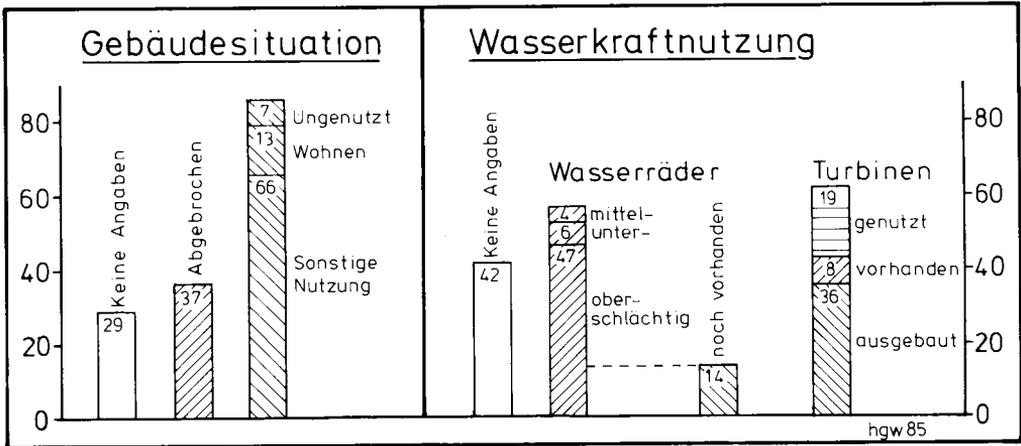


Abb. 13: Nutzung der Mühlengebäude und Wasserkraft im Untersuchungsgebiet 1985

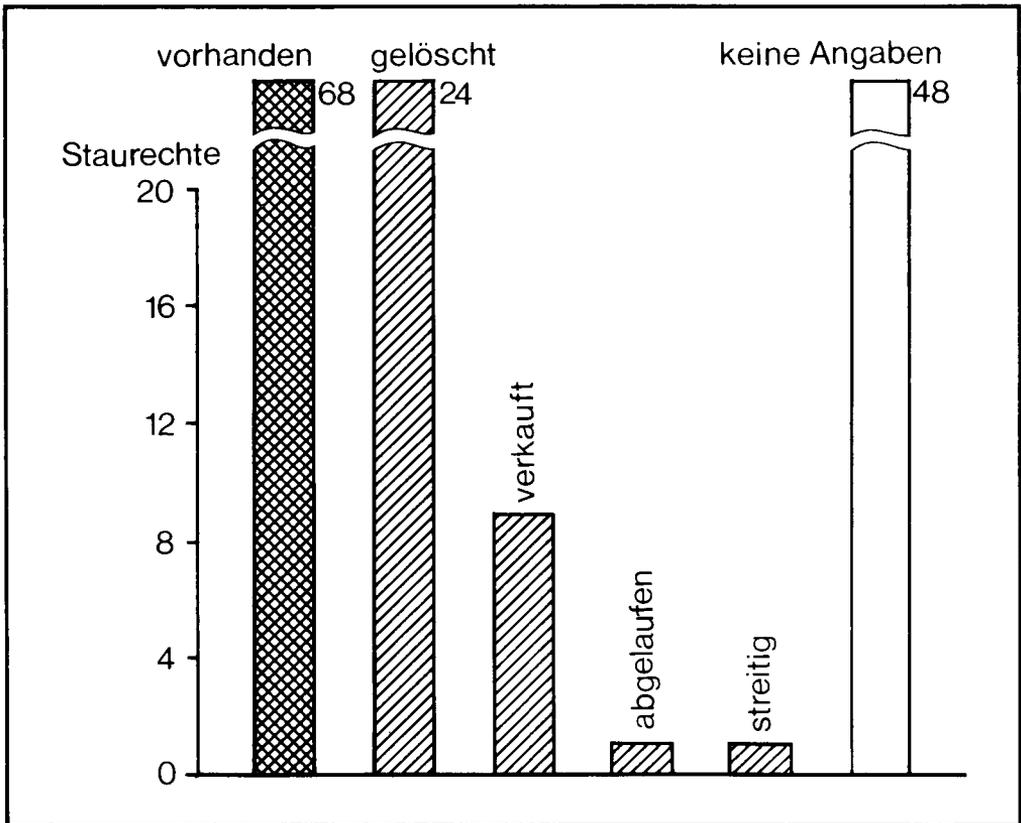


Abb. 14: Staurechte im Untersuchungsgebiet 1985

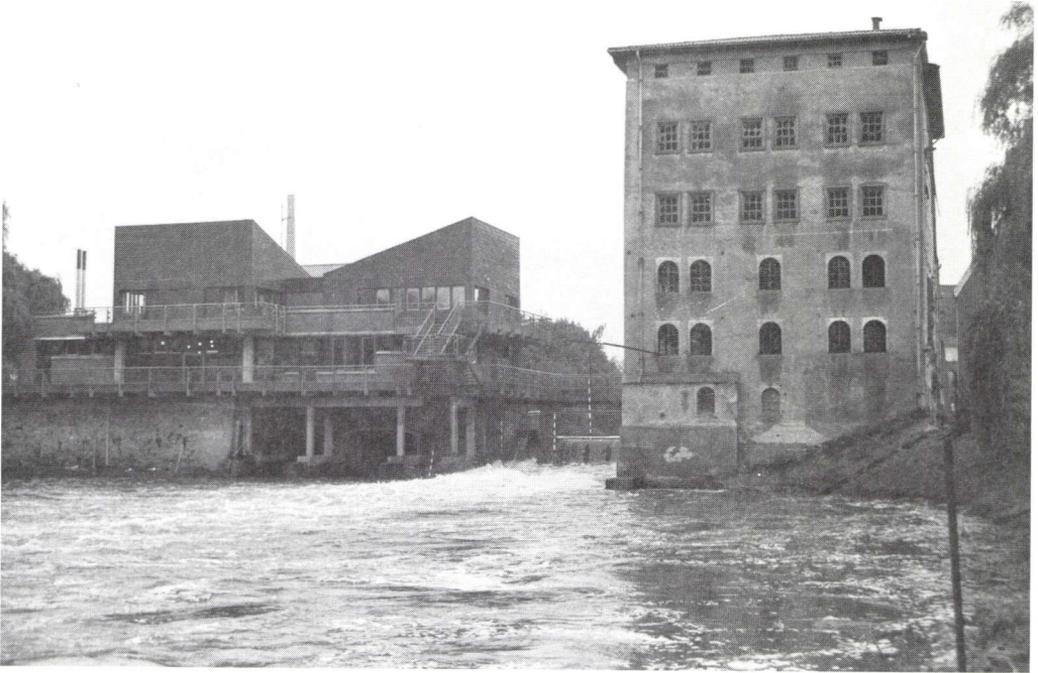


Bild 1: Ehem. Emskraftwerk in Warendorf
Auf den Fundamenten heute ein Jugendheim (links)

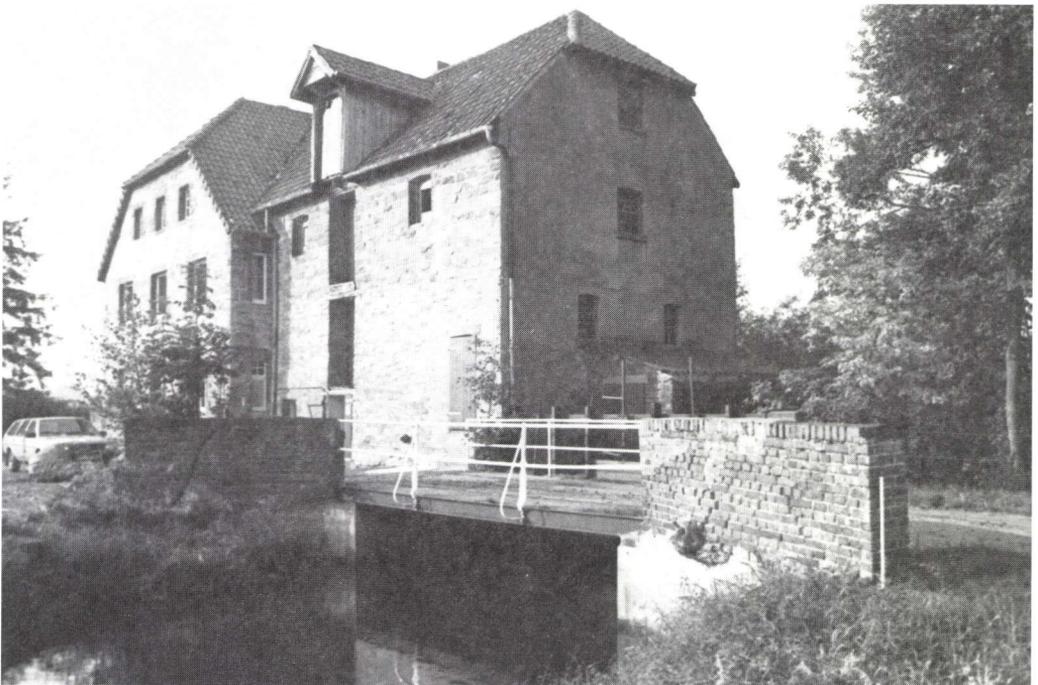


Bild 2: Antfängers Mühle bei Rietberg
Einzige noch in Betrieb befindliche Mühle a. d. Oberen Ems



Bild 3: Riewenerms Mühle a. d. Dalke in Verl
Seit 1981 außer Betrieb und verfallend



Bild 4: Schloßmühle a. d. Ems in Rheda
Das wieder erneuerte unterschlächtige Wasserrad wird nicht genutzt

Das gilt auch für die Staurechte (Abb. 14). Immerhin ist aber bekannt, daß 68 noch vorhanden, 24 gelöscht und neun verkauft worden sind. Außerdem ist eines abgelaufen und nicht erneuert worden sowie ein weiteres zwischen dem Kreis Warendorf und einem Anlageneigner in Sassenberg streitig. Die Tendenz geht weiter zur Löschung von Rechten, wie Besuche bei den Unteren Wasserbehörden der Kreisverwaltungen in Warendorf und Gütersloh⁶²⁾ deutlich machten. Es drängt sich der Eindruck auf, daß es sich vielfach um eine Vorsichtsmaßnahme für zukünftige Gewässerausbauten handelt, bei denen das Abkaufen der Rechte kostspielig werden könnte. Konkrete Gründe waren zumindest selten erkennbar (siehe dazu auch Abschnitt 3.3). Bestätigt wird dies durch das "Umdenken" in der Unteren Wasserbehörde Paderborn, die sich gegen eine möglichst weitgehende Löschung ausspricht. Mühlenbesitzer mit Stau-recht wollen fast ohne Ausnahme unter allen Umständen daran festhalten, auch wenn sie derzeit keine Nutzungsmöglichkeit sehen.

Hauptanlaß für eine Mühlenstillegung ist die fehlende Rentabilität; hoher Arbeitsaufwand für das Mahlen bei geringem Ertrag. Selbst das Schroten für das eigene Vieh ist für viele Landwirte, die überwiegend die Mühlenbesitzer stellen, zu zeitintensiv geworden. Der Schlußstrich ist vielfach gezogen worden, als der Vater zu alt wurde, der Sohn aber nicht mehr die Zeit fand, die Mühle zu betreiben. Die relativ geringen Energiepreise reizten zudem nicht, die Anlage auf Stromerzeugung umzustellen. Das weitere Ausscheiden von Müllern aus Altersgründen könnte in den nächsten Jahren zusätzlich einige an sich für eine Stromerzeugung geeignete Anlagen betreffen (Mühlen Nr. 36, 40, 67, 87, 93, 96, 135, 136)⁶³⁾. Zur Zeit werden sie zum Mahlen und Sägen genutzt (z.B. Nr. 96, Bild 5), z.T. schon auf dem Wege über die Elektrizitätserzeugung. Konsequenterweise böten gerade sie sich als erste für einen Umbau zur Stromproduktion an, wenn kein neuer Müller gefunden wird.

Neben der mangelnden Wirtschaftlichkeit wird in zwölf Fällen die Flurbereinigung als Stillegungsgrund genannt. Vereinzelt tauchen auch andere Ursachen auf, sei es der Straßenbau, ein durch Hochwasser eingebrochener Stau oder ein bei der Überholung verloren-

gegangenes Turbinenteil. Dreimal wird mangelnder Abfluß durch Wassergewinnung angeführt.

Unklarheit herrscht in großem Ausmaß über die Stilllegungszeit (Abb. 15). In 68 Fällen kann sie nicht festgelegt werden, bei vielen übrigen Auskünften handelt es sich um Ungefähr-Angaben. Dennoch zeigt sich eine deutliche Tendenz. Zu Beginn des Jahrhunderts ist noch eine Reihe von Mühlen geplant und gebaut worden. In den 20er Jahren setzten dann die Stilllegungen ein, die ihr Maximum in den 60er Jahren erreichten. Dieser Gipfel ist vermutlich durch den Zweiten Weltkrieg verzögert worden, denn mehrere Besitzer berichteten von Umbau und/oder Wiedereinbetriebnahme in dieser Zeit zur lokalen Stromerzeugung bzw. zum Mahlen. Die Spitze der Aufgabe der Mühlennutzung fällt sicherlich nicht zufällig in die euphorische Zeit niedriger Energiepreise. Zudem wurden vom Staat gezielt Mittel bereitgestellt, mit denen eine Konzentration der Mühlen gefördert wurde. In den 50er und zu Beginn der 60er Jahre zahlte man etwa 200 Mio. DM an Stilllegungsprämien für Wasser- und Windmühlen.⁶⁴⁾ Zwar ebte seitdem die Abschaltwelle -schon wegen der geringen Zahl noch verbliebener Mühlen- ab, eine weitere Reduzierung der betriebenen Anlagen war und ist aber -wie vorab ausgeführt- zu befürchten. Zu den Hintergründen der Stilllegungen seit 1980 läßt sich keine klare Aussage machen. Die Annahme, daß es stets zuerst die kleinen Anlagen sind, besätigt sich so einfach nicht. An der Ems z.B., an der die größten Mühlen lagen, sind sie in Folge der Regulierungsarbeiten schon sehr früh geschlossen worden. Ansonsten kann wohl davon ausgegangen werden, daß es vor allem die nur stundenweise nach Ansammeln des Wassers in Stauteichen zu betreibenden Anlagen sind, die als erste dem Mühlensterben zum Opfer fallen.

Das zeigt sich auch bei der Betrachtung der reaktivierten Anlagen (Tab. 3). Sie finden sich mit einer Ausnahme in Bereichen der Wasserläufe, in denen (zumindest im Winter) mit einem kontinuierlich ausreichenden Wasserfluß gerechnet werden kann. Nr. 29 am Bullerbach, dem Oberlauf der Dalke, ist allerdings z.Zt.

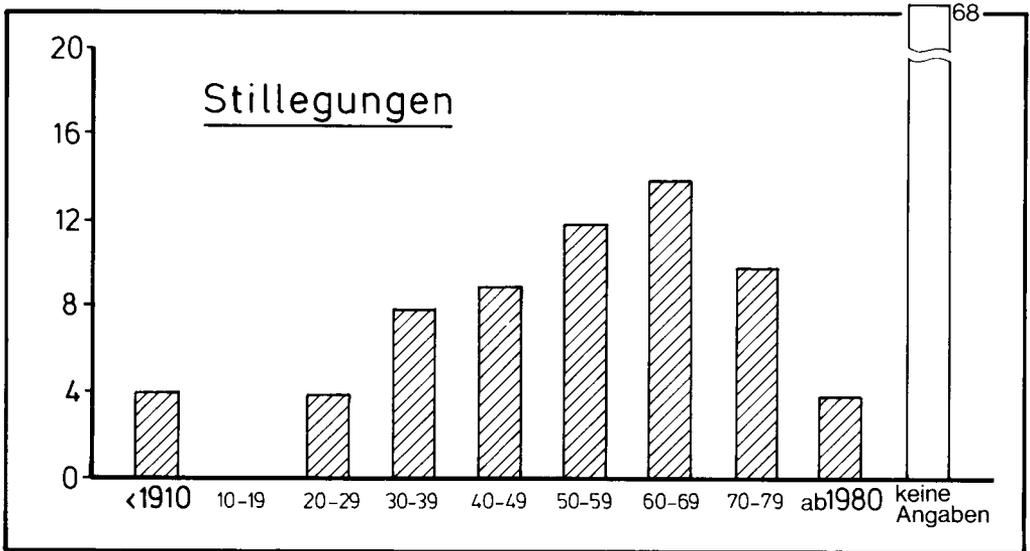


Abb. 15: Mühlenstillegungen im Untersuchungsgebiet

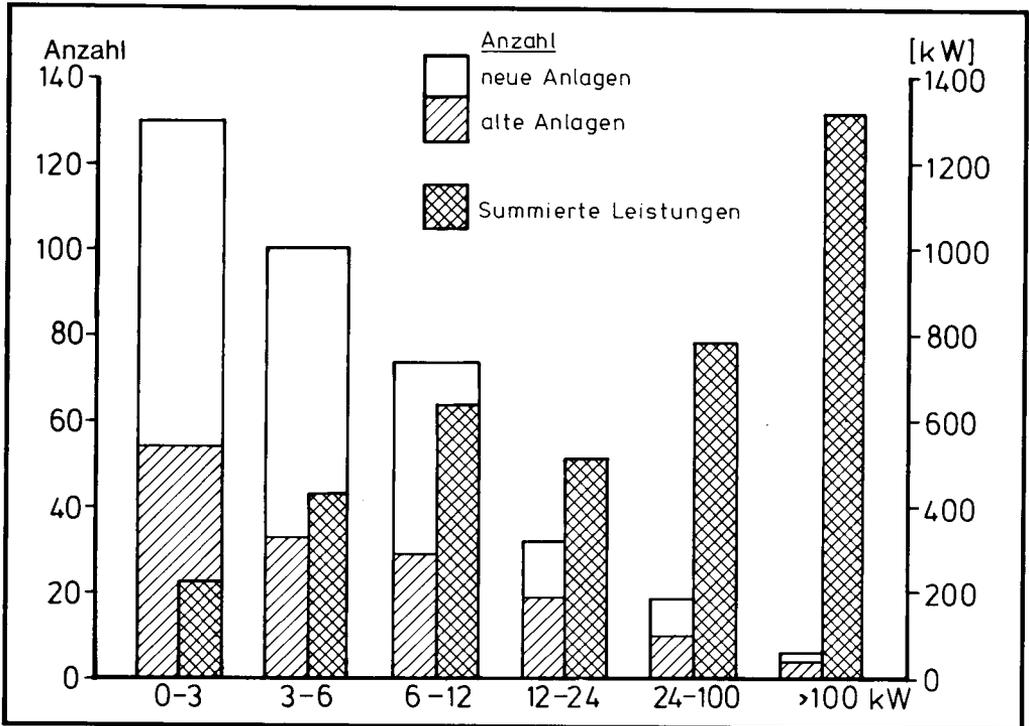


Abb. 16: Ehemalige, bestehende und theoretisch neu zu errichtende Anlagen nach Leistungsklassen und ihre summierten Leistungen aufgrund der Potentialberechnung

noch mehr Hobby des Besitzers. In einem sehr kleinen Leistungsbereich liegen auch zwei weitere Anlagen. Nr. 13 am Furlbach, die mit 6 kW drittkleinste reaktivierte Mühle des Untersuchungsgebietes, kann mit rd. 300 l/s fast das ganze Jahr über rechnen. Seit der Wiederinbetriebnahme 1979 produzierte sie bis September 1984 insgesamt 162 000 kWh, in 1984 ca. 3000-4000 kWh pro Monat. Die direkt oberhalb gelegene, mit Denkmalmitteln renovierte Furlmeier-Mühle mit nur 1,5 m Fallhöhe soll nur zeitweise fürs Getreidemahlen eingesetzt werden.

Es darf aber nicht davon ausgegangen werden, daß die 11 nicht reaktivierte, d.h. ohne Stilllegungsphasen betriebenen Kleinwasserkraftwerke auch kontinuierlich Energie erzeugen. Tabelle 3, in der die 19 aktiven Anlagen (1984) aufgeführt sind, zeigt, daß dies eher die Ausnahme ist. Nur zwei Getreidemühlen (Nr. 67, 82, Bild 6) nutzen die Wasserkraft ständig, eine weitere (Nr. 40) an der Dalke in Gütersloh z.B. in der Regel werktags nur von 8-12 Uhr. Andere werden nur zeitweise zum Sägen oder Schrotten betrieben.

Nur die reaktivierte Anlagen sind, von den beiden beschriebenen Ausnahmen abgesehen, auf eine möglichst vollständige Wassernutzung bedacht. Nr. 13 (Henkemeier) hat dazu eine Liefervereinbarung mit der PESAG (Paderborn) abschließen können und für die Antfängermühle an der Ems (Nr. 16, vgl. Bild 2) besteht ein Vertrag mit der VEW. Seit 1986 speist auch Nr. 87 an der Lutter in das Netz ein, wenn über den eigenen Bedarf für die Mühle hinaus ein Überschuß bleibt. Um wirtschaftlich arbeiten zu können, müssen die Mühlen allerdings einen möglichst hohen Anteil der Energie selbst nutzen, weil der Verkauf des Überschußstroms nur geringe Erlöse einträgt (vgl. Abschnitt 3.1.1). Bei den Kleinwasserkraftwerken Nr. 35, 65 und 115 kann die gesamte erzeugte Energie für die Heizung bzw. Warmwasserbereitung abgenommen werden.

In der Regel gehören die noch aktiven bzw. wieder aktiven Kleinwasserkraftwerke in die Leistungsklassen über sechs kW (Abb. 16). Unter Berücksichtigung auch der ehemaligen Anlagen fallen 54 Alt-

anlagen in die Klasse bis 3 kW und noch 33 in die Kategorie 3-6 kW. Im einzelnen zeigt sich eine Abnahme der Anzahl mit Zunahme der Größe. Von daher ist, was die Abflußverhältnisse schon vermuten lassen, der Anteil alter Mühlen, die das Wasser erst in einem Teich sammeln müssen, um nur für einige Stunden am Tag laufen zu können, recht hoch. Die -laut Potentialberechnung- vier Kleinwasserkraftwerke mit mehr als 100 kW Leistung sind sämtlich an der Ems zu finden. Wegen des früher üblichen niedrigeren Ausbaugrades dürften sie diese Leistung aber, mit Ausnahme des Emskraftwerks Warendorf, nicht erreicht haben. Die Hüttinghauser Mühle (Nr. 70) z.B. hatte zwei Turbinen von 62 und 28 PS, also umgerechnet zusammen 65 kW⁶⁵⁾, könnte aber nach der Potentialberechnung 85 kW liefern.

Das Emskraftwerk Warendorf (Nr. 127), 1926 auf einer schon seit etwa 1200 für Mühlen genutzten Stelle errichtet, wurde mit drei Francis-Turbinen optimal auf die Abflußverhältnisse abgestimmt. Die größte Turbine mit 262 PS (193 kW) war für 8,93 cbm/s und 2,7 m Fallhöhe, die mittlere mit 142 PS (104 kW) für 4,56 cbm/s und drei Meter und die kleinste schließlich mit 60 - 84 PS (44 - 61 kW) für 1,8 - 2 cbm/s und 3,2 bis 3,9 m Fallhöhe ausgelegt.⁶⁶⁾ Die damit erzeugte Jahresarbeit läßt sich, wie Abb. 17 zeigt, mit dem Abfluß weitgehend korrelieren. Abweichungen können durch ungewöhnliche Sommer- oder Winterabflüsse erklärt werden, wie aus einem Vergleich mit Abb. 9 ersehen werden kann. Überlegungen, das 1964 stillgelegte und bis auf die Fundamente abgerissene Emskraftwerk, auf dem jetzt ein Jugendheim steht (vgl. Bild 1), wieder mit einer Turbine zu bestücken, haben sich im Frühjahr 1985 durch den Einspruch des Staatlichen Amtes für Wasser- und Abfallwirtschaft (StAWA) gegen eine Verengung des Durchflußquerschnitts zunächst zerschlagen. Mit vergleichsweise geringen Investitionen von 600 000 DM - ohne die Wasserbaukosten - hätte eine komplette Turbinenanlage mit 500 kW installiert werden können, was über die 343,7 kW der Potentialberechnung noch wesentlich hinausginge.

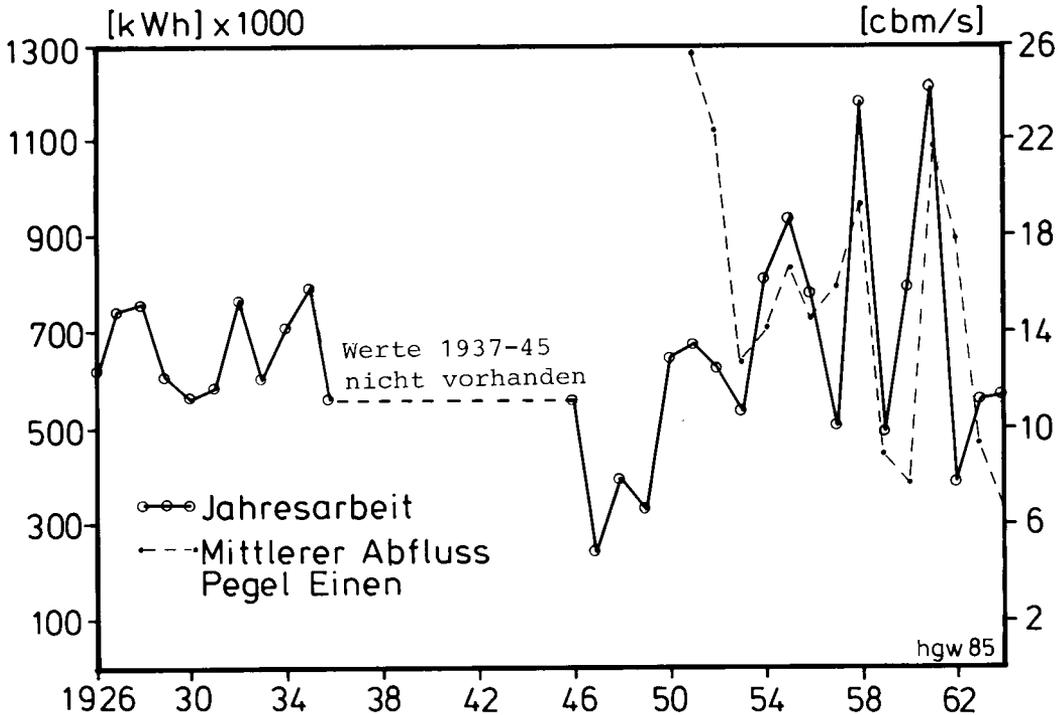


Abb. 17: Jahresarbeit des Emskraftwerkes Warendorf 1926-1964
und mittl. Abfluß am Pegel Eien 1951-1964
(Quellen: VEW; Dt. Gewässerkundl. Jahrbücher)

Tabelle 3 Leistungsdaten der 1985 im Untersuchungsgebiet betriebenen Kleinwasserkraftwerke

Nr.	Wasserlauf	Ort	Leistung (kW)		Jahresarbeit (kWh) 1975 (ber.)	Fallhöhe (m)	Ausbauwasser- menge (l/sec)	Turbine/ Wasserrad	Nutzung für	Nutzungs- dauer	Bemerkun- gen
			ange. ber.	ber.							
13	Furlbach	Hövelhof	6,0	12,8	29 157	2,9	625	Francis(?)	Strom	kontinu.	reaktiv.
16	Ems	Rietberg	14,7	20,9	54 919	2,1	1 409	Francis	Strom	kontinu.	reaktiv.
29	Dalke	Sennestadt	3,0	1,8	7 791	3,0	87	Ossberger	Strom	zeitweise	reaktiv.
33	Dalke	Gütersloh	?	11,4	43 414	3,0	536	Francis(?)	Mahlen	zeitweise	Landhandel
35	Dalke	Gütersloh	16,2	8,8	36 868	2,0	621	Francis	Wärme	kontinu.	reaktiv.
36	Menkebach	Oerlingh.	7,7	1,7	4 508	6,7	36	Ossberger	Mahlen	zeitweise	Landhandel
40	Dalke	Gütersloh	16,9	22,2	73 826	3,0	1 049	Francis	Mahlen	zeitweise	Landhandel
48	Wapelbach	Verl	?	7,8	28 933	2,5	444	Francis(?)	Mahlen	zeitweise	reaktiv.
65	Ölbach	Verl	11,8	7,4	30 589	1,6	651	Francis	Wärme	kontinu.	reaktiv.
67	Ölbach	Gütersloh	22,1	11,6	48 400	2,0	821	Francis	Mahlen	zeitweise	Landhandel
68	Ölbach	Rh.-Wied.	15,5	12,6	49 356	2,0	891	Francis	Strom	kontinu.	reaktiv.
82	Reiherbach	Gütersloh	8,8	6,8	26 897	3,2	301	Francis	Mahlen	kontinu.	Landhandel
87	Lutter	Harsewink	16,5	25,3	75 101	2,0	1 790	Francis	Mahlen	zeitweise	Landhandel
93	Abrooksbach	Steinhagen	16,2	8,7	36 331	4,2	293	Francis	Mahlen	zeitweise	Sägewerk
96	Abrooksbach	Harsewink	14,7	14,2	52 470	2,5	806	Francis(?)	Sägen	zeitweise	Landwirt
115	Axtbach	Herzebrock	13,2	17,4	55 970	3,8	648	Francis	Strom	kontinu.	reaktiv.
135	Hessel	Versmold	8,8	5,2	21 866	2,0	369	Francis	Mahlen	zeitweise	Landhandel
136	Hessel	Versmold	8,8	7,6	29 132	2,8	383	Francis	Sägen	zeitweise	2. Tur. weg
145	Aabach	Versmold	7,4	2,8	11 009	2,2	180	Francis	Mahlen	zeitweise	Abf. gering

Nr. 12 - nicht aufgeführt - dient nur zu Schauzwecken

2.4 Technik der Kleinwasserkraftanlagen

Zum Verständnis der Potentialberechnung bedarf es einiger technischer Erläuterungen, die aber in der gebotenen Kürze nur ein Schlaglicht auf die zahlreichen Überlegungen werfen können, die das konkrete Einzelprojekt verlangt.

Wasserkraftanlagen werden bezüglich Leistung, Fallhöhe und Betriebsweise in verschiedene Kategorien eingeteilt: **L a u f - w a s s e r k r a f t w e r k e** nutzen kontinuierlich das nachströmende Wasser, **S p e i c h e r k r a f t w e r k e** (oft in Verbindung mit Talsperren) können nach Bedarf zugeschaltet werden. Bei Fallhöhen von 15, 20 oder 25 m (je nach Autor⁶⁷⁾) werden die Niederdruck- von den Hochdruckanlagen mit größeren Höhen abgegrenzt. Variabel sind ebenfalls die Einteilungen in **K l e i n -** und **G r o ß k r a f t w e r k e**; in China z.B. gelten Anlagen bis 25 MW noch als Kleinkraftwerke⁶⁸⁾, allgemein wird aber 1 MW als obere Grenze angesehen. Unter 100 kW wird teilweise noch von **K l e i n s t w a s s e r k r a f t - w e r k e n** gesprochen.⁶⁹⁾

Nach diesen Definitionen lassen sich die in dieser Untersuchung betrachteten Anlagen leicht einordnen: Es handelt sich sämtlich um Laufwasserkraftwerke, z.T. mit relativ kleinen Staubecken, als Niederdruckanlagen im Kleinst- und Kleinwasserkraft-Bereich. Sie unterscheiden sich allerdings in der Art der Wasserkraftnutzung. Mit einem Wasserrad wird im Untersuchungsgebiet nur noch die mit Denkmalschutzmitteln wieder hergerichtete Mühle am Furlbach (Nr. 12) betrieben, alle anderen noch aktiven Anlagen verfügen über Turbinen.

Sowohl Wasserräder als auch Turbinen nutzen die potentielle Energie der Wasserteilchen, die diese durch die Hebung über den Meeresspiegel erlangt haben und die ansonsten beim Zurückfließen in die Ozeane vor allem durch Reibung in Wärme umgesetzt und abgestrahlt wird.⁷⁰⁾ Wasserräder werden durch das Gewicht (ober- und mittelschlächlige Bauformen) oder durch die Bewegungsenergie

des Wassers (unterschlächtige Räder) bewegt, Turbinen durch Richtungs- und Geschwindigkeitsänderung des Wasserstroms angetrieben.⁷¹⁾ Wasserräder werden heute allgemein nur noch als romantische Schaustücke und allein deshalb als erhaltenswert angesehen. Existierende Räder drehen fast immer leer - im Untersuchungsgebiet z.B. an der Schloßmühle Rheda (Nr. 27, vgl. Bild 4) und an der Kramermühle Oelde (Nr. 112). Bei entsprechender Konstruktion reichen ihre Wirkungsgrade aber an die der Turbinen heran und spezifische Vorteile wie einfache und damit billige Bauweise, Unempfindlichkeit gegen Wasserschwankungen und verschmutztes Wasser sowie problemlose Wartung lassen sie auch heute noch in bestimmten Fällen als geeignet erscheinen.⁷²⁾

Abb. 2 zeigte bereits die drei Arten der Wasserräder. U n t e r s c h l ä c h t i g e Räder lassen sich schon bei geringsten Gefällen einsetzen und nutzen die Bewegungsenergie des Wassers, den "Stoß"⁷³⁾ oder die "Impulskraft"⁷⁴⁾. Sie können Fallhöhen von 0,4-3 m bei Abflüssen von 0,2-5 cbm/s mit Wirkungsgraden von maximal über 70 % nutzen, wenn die Schaufeln gebogen ausgeführt werden. Räder mit geraden Schaufeln (wie im Untersuchungsgebiet angetroffen) kommen dagegen nur auf 30-40 %.⁷⁵⁾ M i t t e l s c h l ä c h t i g e Räder haben einen Einsatzbereich von 1,5-5 m Fallhöhe bei einem Abfluß von 0,3-3 cbm/s und erreichen Wirkungsgrade von 60-78 %. Gewichts- und Impulskraft wirken hier zusammen.⁷⁶⁾ O b e r s c h l ä c h t i g e Räder, die häufigste Bauform auch im Untersuchungsgebiet, decken die größeren Fallhöhen von 3-12 m ab bei Abflüssen von 0,05-1 cbm/s und kommen dabei auf Wirkungsgrade von 65-80 %.⁷⁷⁾

1930 sollen noch 37 000 Wasserräder mit 218 MW Gesamtleistung in Deutschland betrieben worden sein.⁷⁸⁾ Ihre hochentwickelten Formen⁷⁹⁾ sehen allerdings anders aus als die allgemein bekanntesten Holzräder. Sie stellten z.T. bereits Übergangsformen zu den T u r b i n e n dar, von denen sie vielfach abgelöst worden sind, weil diese erst die Nutzung größerer Fallhöhen und Wassermengen bei geringer Größe und besseren Wirkungsgraden ermöglichen. Vier Grundtypen genügen dabei für alle auftretenden Bedingungen: die Pelton-Turbine = Freistrahlturbine für Fallhöhen ab

15 m aufwärts⁸⁹⁾, die Francis-Turbine = Überdruckturbine für Fallhöhen bis ca. 500 m⁸¹⁾, die Kaplan-Turbine = Überdruckturbine für geringere Fallhöhen bis ca. 80 m⁸²⁾ und die Ossberger-Turbine = Durchströmturbine (auch Michell- oder Banki-Turbine genannt) für geringere Fallhöhen von 1-200 m und Abflüsse bis zu 7 cbm/s.⁸³⁾

Die Pelton-Turbine scheidet bei den geringen Fallhöhen im Untersuchungsgebiet praktisch aus und soll deshalb nicht näher behandelt werden.⁸⁴⁾ Mit Ausnahme von zwei Ossberger-Turbinen (Anlagen Nr. 34 und 36) sind an der Oberen Ems dagegen Francis-Turbinen eingebaut, und zwar fast ausschließlich (soweit noch bekannt) von der Fa. Maier in Brackwede, die heute zum Turbinen-Hersteller Voith gehört. Sie werden, je nach ihrer Drehzahl, unterschieden in Langsam-, Normal- und Schnellläufer und haben entsprechend unterschiedlich gestaltete Laufräder (Abb. 18). Bei kleineren Fallhöhen bis 20 m werden Francis-Schnellläufer eingesetzt⁸⁵⁾; hier ist auch die Einbauweise im Schacht üblich, sowohl mit horizontaler wie auch vertikaler Welle (Abb. 19). Das Wasser muß die Turbine ganz überdecken, wird je nach Öffnung der kranzförmig angeordneten Leitschaufeln auf das Turbinenlaufrad geleitet und fließt nach unten durch das Saugrohr ab, das in das Unterwasser eintauchen muß. Das Saugrohr hat die Aufgabe, die Abflußgeschwindigkeit des Wassers möglichst weitgehend zu verringern und dadurch bis zu 90 % Energie zurückzugewinnen.⁸⁶⁾ Diese Konstruktion hat zudem den Vorteil, daß die Turbine in sicherer Höhe über dem Unterwasserspiegel angebracht werden kann, ohne daß dabei Fallhöhe eingebüßt wird, was ein Nachteil der Durchströmturbine ist.⁸⁷⁾

Aus den Francis-Schnellläufern wurden Anfang des Jahrhunderts die Kaplan-Turbinen entwickelt. Auch hier regelt ein Leitapparat den Wasserzufluß, wobei das Laufrad aber als Propeller ausgebildet ist und die Flügel wie die Leitschaufeln schwenkbar sind (Abb. 20).⁸⁸⁾ Doppelt geregelte Kaplan-Turbinen erreichen optimale Wirkungsgrade über einen weiten Durchflußbereich und sind daher für schwankende Abflüsse besonders gut geeignet - aber auch teurer. Denn die Technik ist komplizierter wegen der

zusätzlichen Flügelregelung, die in der Propellerwelle untergebracht ist. Turbinen dieser Art sind mit verschiedenen Flügelzahlen und -längen nur für geringere Fallhöhen bis etwa 80 m einsetzbar, da ansonsten Kavitation (Hohlraumbildung) sie zu zerstören droht. Durch Unterdruck können sich Wasserdampfblasen bilden, die zerplatzen und den Stahl in kurzer Zeit korrodieren.⁸⁹⁾

Die Rohrturbine, eine kompakte, axial durchströmte Bauform der Kaplan turbine (Abb. 21), erscheint besonders geeignet für die Anlagen des Untersuchungsgebietes. Sie bietet wie die Kaplan turbine Schnellläufigkeit, die eine direkte Ankupplung des Generators erlaubt oder zumindest nur eine geringe Übersetzung erfordert, einen guten Wirkungsgradverlauf und die Möglichkeit einer weitgehenden Vormontierung beim Turbinenhersteller, was die Bauzeit verkürzt und die Kosten senkt. Mehrere Firmen bieten davon standardisierte Größen an.⁹⁰⁾ Daß im Untersuchungsgebiet trotz dieser Vorteile keine Kaplan turbine eingebaut ist, liegt wohl daran, daß die Turbinen hier fast alle in den ersten 30 Jahren dieses Jahrhunderts bestellt worden sind, als die Kaplan turbine gerade erst konstruiert wurde. Außerdem mögen Francis turbinen als lang bewährt, robust und kostengünstiger angesehen worden sein.

In zwei Anlagen des Untersuchungsgebietes sind Ossbergerturbinen eingebaut, deren Wirkungsweise Abb. 22 zeigt. Ihre Laufräder können durch eine einfache Trennplatte in zwei Kammern geteilt werden, die je nach zufließender Wassermenge durchströmt werden⁹¹⁾ Praktisch gewinnt man dadurch die Vorteile von zwei Turbinen, die sich jeweils im günstigsten Bereich betreiben lassen. Der Wirkungsgradverlauf ist daher ebenfalls über einen weiten Bereich gut, wenn er auch nicht das Maximum der Kaplan turbinen erreichen kann. Dafür handelt es sich aber um eine einfache und billigere Konstruktion, speziell geeignet für kleine Wasserkräfte mit schwankendem Abfluß.⁹²⁾

Zu einem optimalen Betrieb der Turbinen sind noch eine Reihe von Nebenanlagen erforderlich. Gerade bei den Kleinwasserkraftwerken

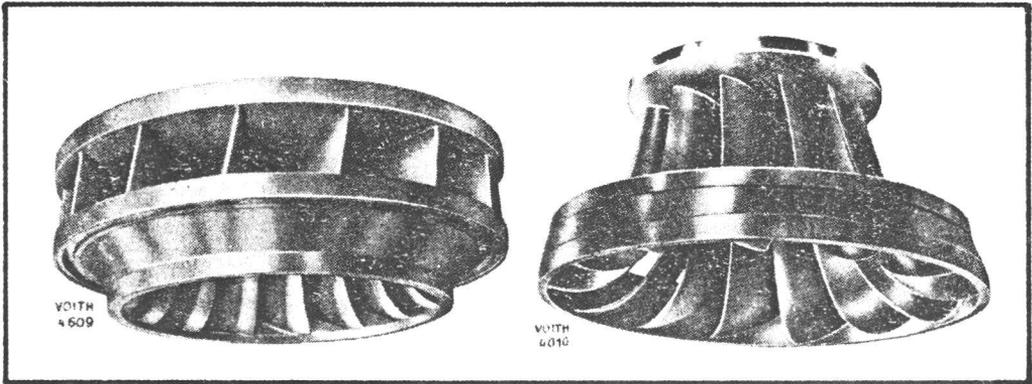


Abb. 18: Zwei Laufräder von Francis-Turbinen
 Links Langsamläufer (spez. Drehzahl $n_s = 105$ U/min),
 rechts Schnellläufer (450 U/min) (aus KEYL/HÄCKERT 1949:111)

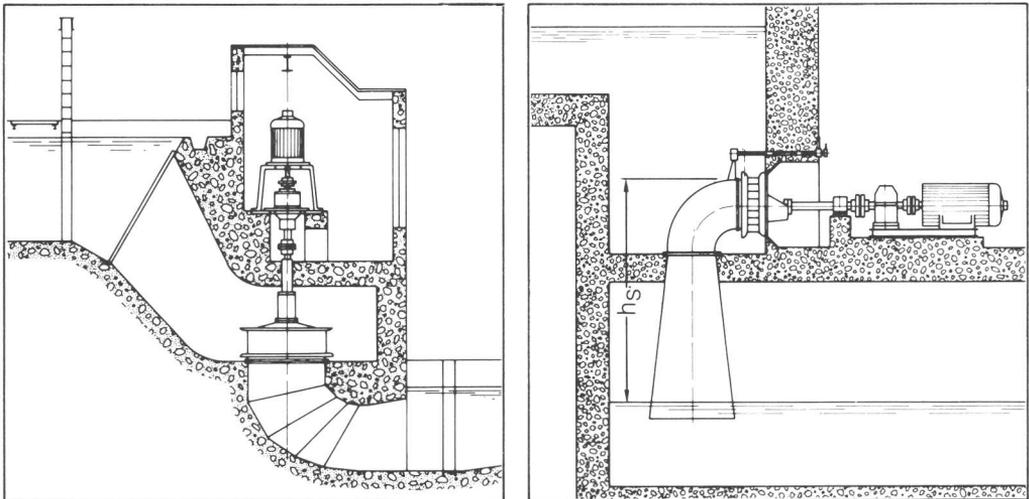


Abb. 19: Einbaumöglichkeiten für Francis- u. Kaplan-Turbinen
 Links stehende, rechts liegende Welle
 (aus Prospekt der Fa. VOITH)

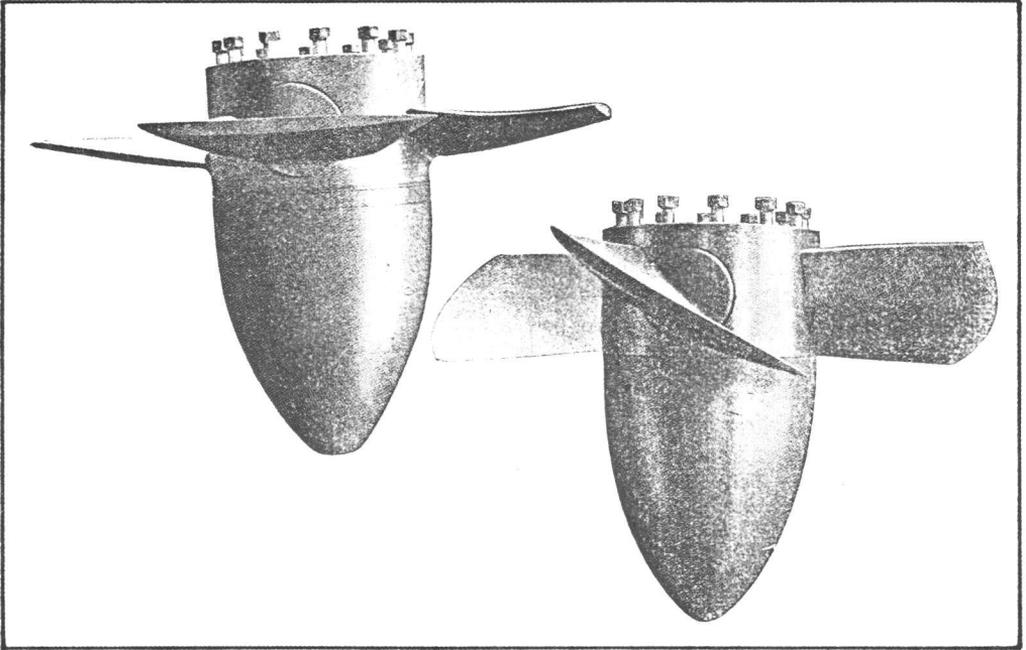


Abb. 20: Kaplan-Laufrad mit schwenkbaren Flügeln zur Durchflußanpassung (aus RAUCH 1948:43)

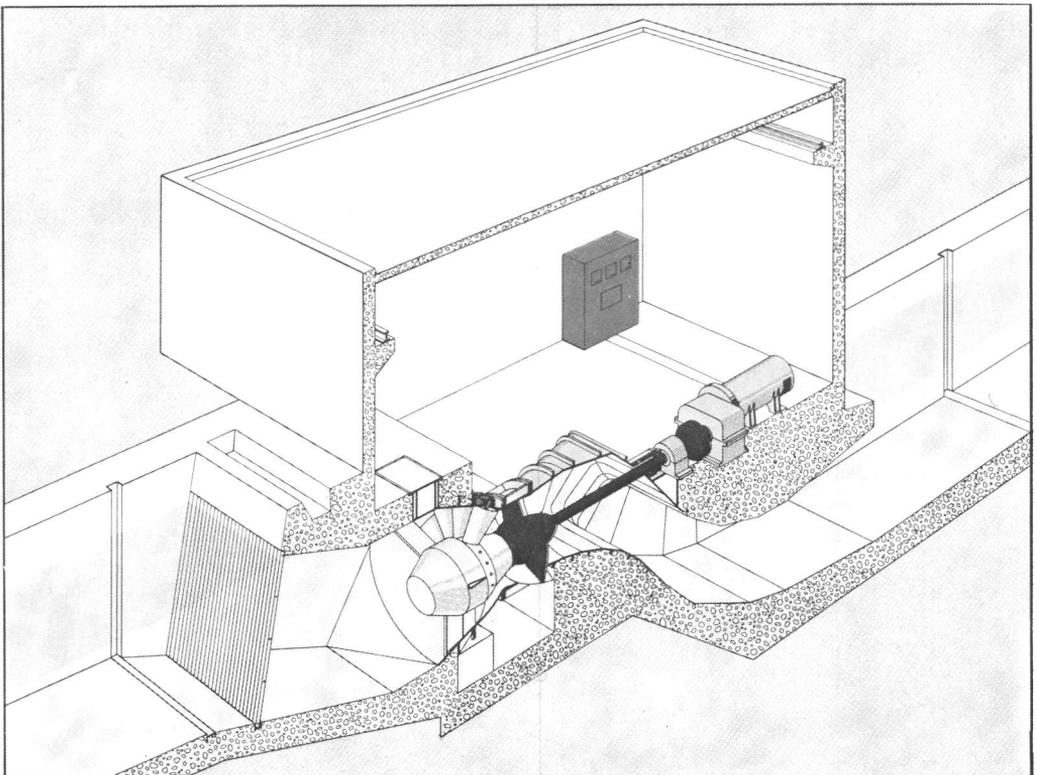


Abb. 21: Rohrturbine (S-Form) mit typischer axialer Durchströmung (Querschnitt) (aus Prospekt der Fa. VOITH)

verlangt die Personalkosteneinsparung eine automatische Regelung. Dazu kann z.B. die Drehzahl der Turbine konstant gehalten werden, was für Synchrongeneratoren erforderlich ist. In der Größenordnung der hier betrachteten Kleinwasserkraftwerke kommt jedoch die Wasserstandsregelung in Betracht, denn die kostengünstigeren Asynchrongeneratoren werden durch Blindstrom aus dem Netz geregelt und halten selbst die Turbinendrehzahl konstant.⁹³⁾ Dabei wird der Oberwasserspiegel auf immer gleicher Höhe gehalten, die Leitschaukeln also nur so weit geöffnet, daß die ständig zufließende Wassermenge durch die Turbine strömt, wodurch die maximale Fallhöhe erhalten bleibt.⁹⁴⁾ Die Bedeutung der automatischen Regelung zeigt sich in einer etwa 30 % höheren Energieausbeute gegenüber der Handregelung.⁹⁵⁾

Zwischen Turbine und Generator muß i.d.R. eine Übersetzung eingebaut werden, um die Generatorzahl zu erreichen. Den früher üblichen Flachriemen (Bild 7) verdrängen heute Keilriemen, Ketten oder Getriebe (Bild 8) mit sehr hohen Wirkungsgraden von bis zu 98 %. Komplette wird die "Inneneinrichtung" mit der Schaltung zur lokalen Stromerzeugung (Bild 9) oder zum Elektrizitätswerk, wenn man von dem gewünschten Regelfall eines Parallelbetriebes zum Netz ausgeht (Bild 10). Die Speisung ins Netz, aber auch die Entnahme daraus in Mangelzeiten, müssen ebenso geregelt werden wie Schutzmaßnahmen beim plötzlichen Ausfall und beim Anfahren der Anlage.

Äußerlich betrachtet können die Kleinwasserkraftwerke sehr unterschiedlich ausfallen. Einige liegen direkt im Wasserlauf (bei der überströmten Bauweise gilt das im Wortsinn), andere an Ausleitungen aus dem eigentlichen Fluß, wobei dann für einen Restabfluß im alten Bett gesorgt werden muß. Ein Krafthaus ist nicht unbedingt erforderlich. Für Kleinanlagen haben mehrere Firmen transportable Einheiten entwickelt, die an etwas überdimensionale Schaltschränke oder kleine Litfaßsäulen erinnern.⁹⁷⁾

Gestaut wird das Wasser an einem Wehr, für das es eine Reihe von Konstruktionsmöglichkeiten gibt. Immer muß es jedoch gewähr-

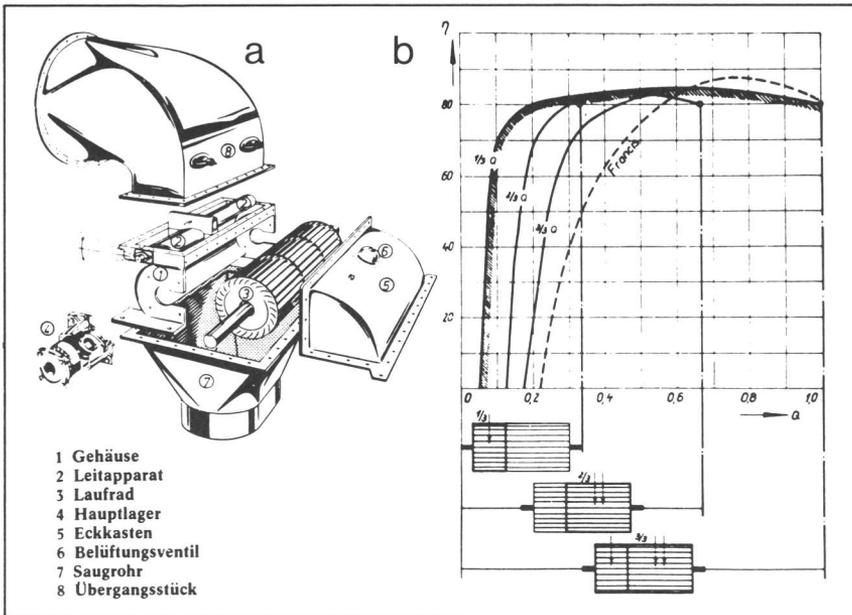


Abb. 22: Aufbau (a) und Wirkungsgradverlauf (b) bei verschiedener Beaufschlagung der Ossberger-Durchströmturbine (aus KÖNIG 1983:63)

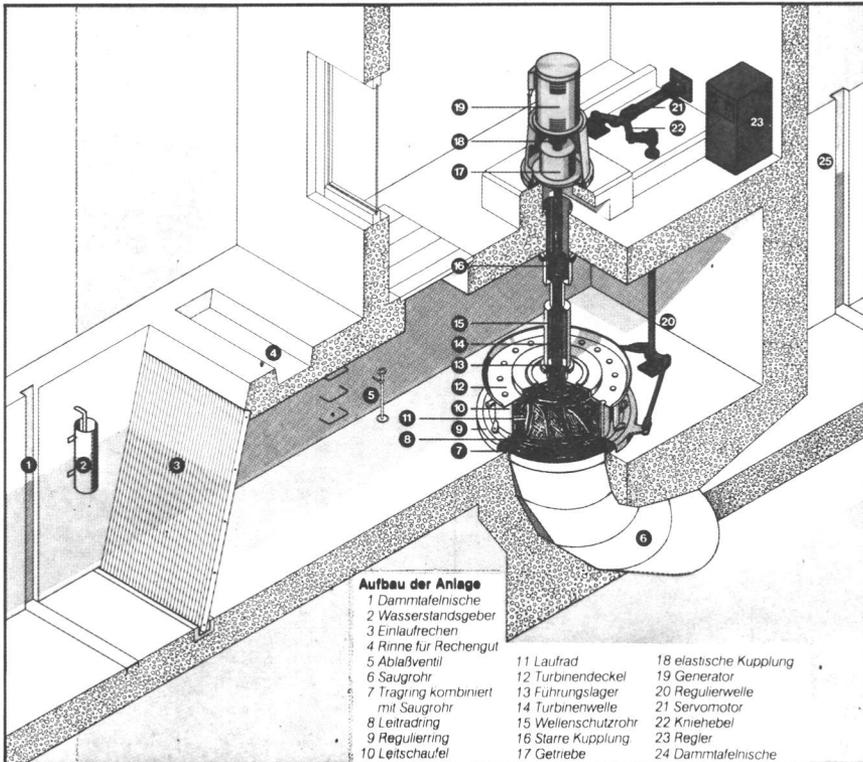


Abb. 23: Kleinwasserkraftwerk mit stehender Francis-Schachtturbine (aus Prospekt der Fa. VOITH)



Bild 5: Zeitweise noch aktive Sägemühle am Abrooksbach bei Harsewinkel



Bild 6: Mühle Strothmann am Reiherbach in Gütersloh-Avenwedde
Einzigste aktive Mahlmühle im Untersuchungsgebiet mit
24 Std./Tag-Betrieb



Bild 7: Mühle Henkemeier am Furlbach bei Hövelhof
Herkömmliche Kraftübertragung durch einen Flachriemen



Bild 8: Mühle Redeker a. d. Kalle bei Vlotho
Kraftübertragung durch ein modernes Getriebe

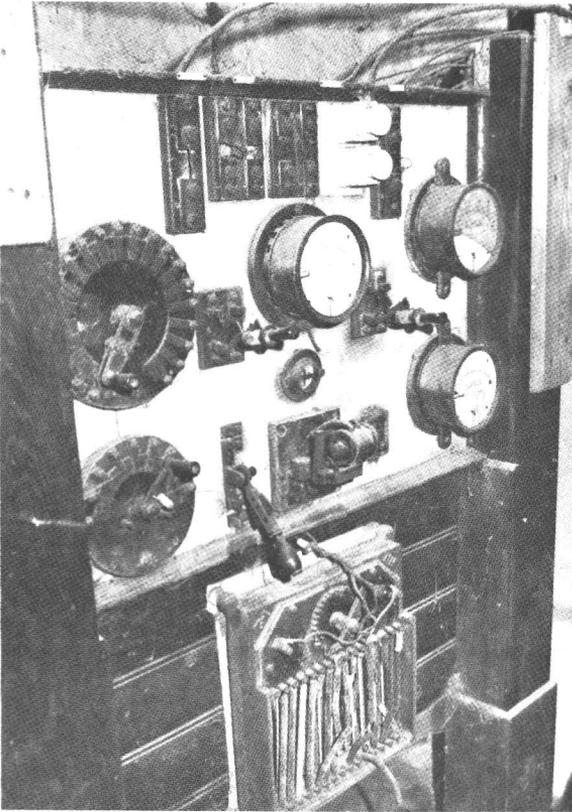


Bild 9: Mühle a. d. Heder
in Salzkotten-Verne
Schaltanlage vom Beginn
dieses Jahrhunderts



Bild 10: Mühle Schlepphorst a. d. Heder in Salzkotten-Verne
Schaltanlage zur Netzparallelfahrt aus den 1980er Jahren

leisten, daß auch größte Hochwasser schadlos abgeführt werden können. Bei kleinen Anlagen reichen im allgemeinen von Hand zu ziehende hölzerne Schützen, die übliche Bauform im Untersuchungsgebiet.⁹⁸⁾ Eine neue, bei Neubauten kostengünstigere Alternative bieten selbststeuernde Schlauchwehre aus Gummimatten.⁹⁹⁾ Der eigentliche Wassereinlaß muß bei den gegenüber Verschmutzungen empfindlichen Turbinen durch einen Rechen geschützt werden. Dieser kann mit einer automatischen Reinigungsanlage versehen werden, was gerade im Herbst, wenn viel Laub angeschwemmt wird, eine erhebliche Erleichterung darstellt. Ungenügende Reinigung führt zu Stau vor den Stahlstäben und einem Fallhöhenverlust hinter dem Rechen.¹⁰⁰⁾ Das Auskämmen grober Verschmutzung wird heute als ein Vorteil der Kleinwasserkraftwerke empfunden, zumal die Menge des Treibgutes nach Angaben mehrerer Mühlenbesitzer in den vergangenen Jahren gestiegen ist. Sie leisten damit einen Beitrag zur Gewässerreinigung. Eine automatische Rechenreinigungsanlage läßt sich selbst, wie das Beispiel des Besitzers von Nr. 35 zeigt, aus einem alten Miststreuer herstellen. Den Gesamtaufbau eines Kleinwasserkraftwerks, wie es für das Untersuchungsgebiet typisch ist, zeigt beispielhaft die Abbildung 23.

2.5 Berechnung des Wasserkraftpotentials und Abschätzung der Nutzungsmöglichkeiten

Das Arbeitsvermögen des über das Meeresniveau hinausgehobenen und dorthin zurückfließenden Wassers kann auf mehrfache Weise ermittelt werden:

- als **F l ä c h e n p o t e n t i a l**, bei dem aus der Fläche, ihrer Höhe über dem Meeresspiegel und dem auf diesen Höhenschichten zum Abfluß gelangenden Teil des Niederschlags das Potential errechnet wird;¹⁰¹⁾
- als **L i n i e n p o t e n t i a l**, bei dem jeweils an mehreren Punkten des Wasserlaufs Abfluß und Fallhöhe bestimmt und die mögliche Leistung unter Einbeziehung eines Korrekturfaktors für den oberhalb gelegenen Abschnitt errechnet und für den Gesamtfluß addiert werden¹⁰²⁾, sowie

- als t e c h n i s c h n u t z b a r e s P o t e n t i a l , bei dem die Leistungen aus bestehenden (u.U. auf den neuesten Stand gebrachten), für reaktivierbar erachteten und wirtschaftlich neu zu errichtenden Anlagen zusammengezählt werden.

Vom Flächen- zum technisch nutzbaren Potential hin wird das Raster immer feiner, das Arbeitsvermögen immer kleiner. Für Österreich gibt RADLER ein Flächenpotential von 150-170 TWh/a, ein Linienpotential von 74 TWh/a und als ausbauwürdiges Potential 53,7 TWh/a an.¹⁰³⁾ In dieser Rangfolge nimmt aber die Subjektivität des Verfahrens zu. Ob der Bearbeiter eine Anlage für reaktivierbar oder erstellbar hält, hängt ganz entscheidend davon ab, welche Bedeutung er der Wirtschaftlichkeit zumißt. Soll das Kleinwasserkraftwerk z.B. in fünf, 10 oder 15 Jahren die Kosten erwirtschaftet haben? Glaubt der Bearbeiter an steigende Energiepreise und/oder mißt er der Umweltschonung durch Energieerzeugung aus Wasserkraft einen volkswirtschaftlichen Nutzen zu u.a.m.?¹⁰⁴⁾ Linien- und Flächenpotential versprechen mehr Objektivität, sind aber weitgehend theoretische Werte mit dem Vorteil, daß sie einfach zu ermitteln und zu berechnen sind. Aus diesen Überlegungen heraus ist für die vorliegende Untersuchung ein Mittelweg zwischen Linien- und technisch nutzbarem Potential gewählt worden mit dem Ziel, möglichst objektiv das nutzbare Arbeitsvermögen bei vertretbarem Rechenaufwand zu ermitteln - unbeeinflußt von wirtschaftlichen Überlegungen, die wechselnden Einflüssen unterworfen sind.

Dazu wird angenommen, daß alle alten Anlagen wieder -im wesentlichen unverändert- betrieben werden und neue Kleinwasserkraftwerke die verbleibenden Fallhöhen nutzen, die bislang nicht zur Energieerzeugung herangezogen worden sind. Im wesentlichen ergibt dies eine verfeinerte Linienpotentialberechnung, da nach einem ähnlichen Schema vorgegangen wird, allerdings unter Berücksichtigung wesentlich kleinerer Abschnitte. Um der Gefahr einer Überschätzung zu entgehen, werden die theoretischen Standorte nach topographischen Gesichtspunkten bestimmt, ihre Fallhöhen den umgebenden Altanlagen angepaßt und einige im folgenden noch beschriebene Sicherheitsannahmen eingerechnet.

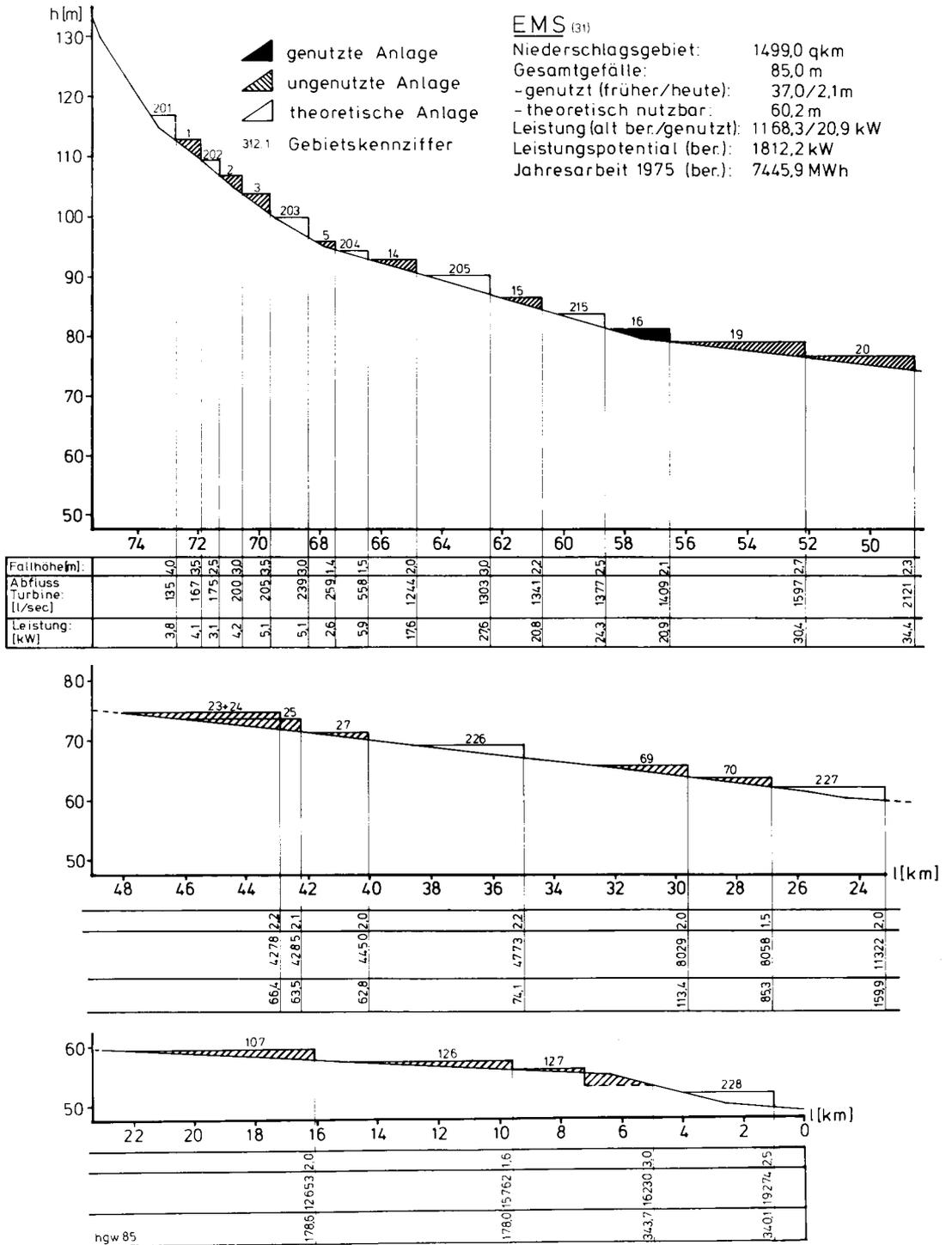


Abb. 24: Höhenprofil der Oberen Ems und Kleinwasserkraftwerke

Gleichzeitig wurde die Numerierung geändert, die bei der Bereisung in der Reihenfolge der angetroffenen Anlagen erfolgte. Von der Ems ausgehend läuft die Zählung nunmehr jeweils flußabwärts. Bei Einmündungen wird am hinzuströmenden Gewässer neu begonnen, dann der Hauptfluß weitergezählt. Die theoretischen Kleinwasserkraftwerke werden ebenfalls in der Reihenfolge ihrer Wasserlauf-einmündung in die Ems, dann aber durchgehend gezählt, beginnend mit 201 (vgl. Abb. 32, Beilage, mit einem Gesamtüberblick über alle in die Rechnung einbezogenen Kleinwasserkraftwerke).

Es sind nur schon genutzte Wasserläufe in die Rechnung einbezogen worden, da im Laufe der Erfassung deutlich geworden ist, daß die Mühlenbauer früherer Jahrhunderte ein sicheres Gespür für die geeignetsten Standorte hatten und ungeeignete Bäche mieden. Das zeigt sich z.B. am Sennebach. Von vornherein fiel auf, daß dieser Wasserlauf zwischen den intensiv genutzten Wapel- und Furlbach bis auf zwei heute nicht mehr existierende Anlagen frei von Kleinwasserkraftwerken blieb. Der Sennebach entspringt nämlich im Gegensatz zu den übrigen "Sennebächen" in einem Feuchtgebiet und hat eine sehr ungleichmäßige Quellschüttung (vgl. Tab. 1). Ein Trockenfallen ist im Sommer nicht selten. Eine ähnliche Situation ergibt sich beim Lichtebach, dem westlichen Nachbarn der wasserreichen Lutter.¹⁰⁵⁾ Deswegen sind auch die ungenutzten Wasserläufe nicht in die Rechnung einbezogen worden, obwohl sie natürlich ein gewisses Potential haben und an ihnen ein Kleinwasserkraftwerk im Einzelfall plaziert werden könnte. Sie mögen als Sicherheit für etwaige Überschätzungen der genutzten Bäche dienen.

Für die im Höhenprofil verbleibenden Lücken wurden Standorte für neue Anlagen gesucht, die eine in diesem Bachabschnitt übliche Fallhöhe aufweisen und möglichst mit einem Gehöft zusammenfallen, womit die Besitzerfrage geklärt wäre. Zur Sicherheit wird zwischen den Kleinwasserkraftwerken ein halber Meter Fallhöhe ungenutzt gelassen, soweit die örtlichen Gegebenheiten nicht dagegen sprechen. Tatsächlich könnten die Anlagen die Fallhöhe lückenlos nutzen, wie dies z.B. die vier früheren Gütersloher

Kleinwasserkraftwerke an der Dalke (Nr. 39-42) zeigen oder aber auch das Beispiel Moselausbau belegt (Abb. 26).

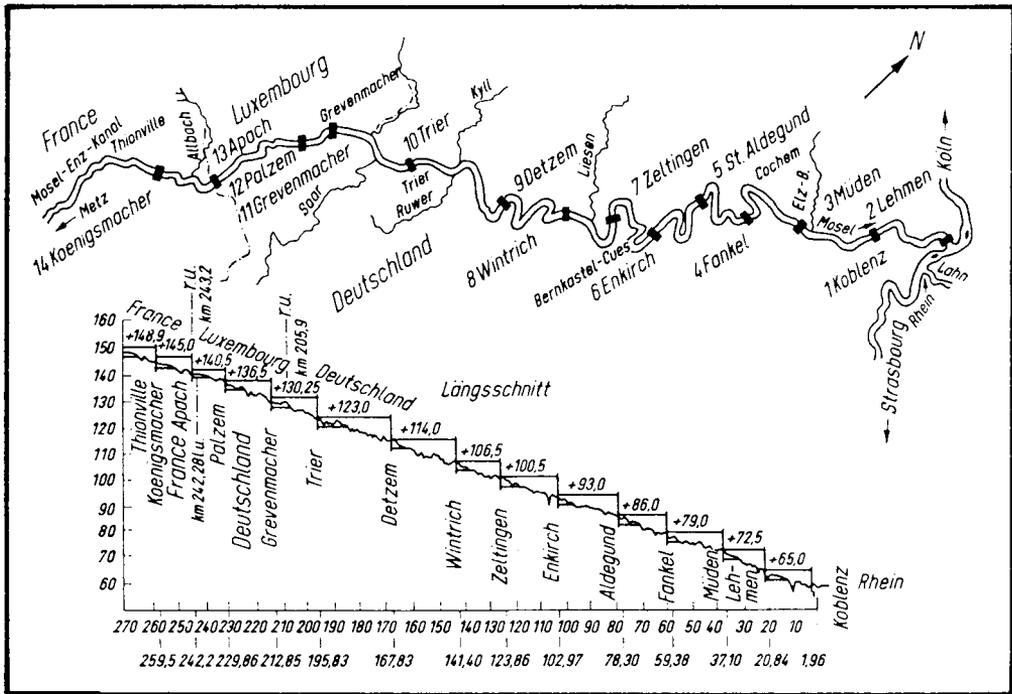


Abb. 26: Moselausbau als Beispiel lückenloser Wasserkraftnutzung (aus PRESS 1967:4)

Wegen der für das Flachland bewußt gewählten starken Überhöhung der Höhenprofile im Maßstab von 1:500 kann mit Millimeter-Papier direkt die Fallhöhe der so ermittelten 213 potentiellen Anlagen abgelesen werden. Mit der in Abschnitt 2.2.2 beschriebenen Abflußbestimmung an jedem Kleinwasserkraftwerk sind damit die wichtigsten Faktoren der Leistungsberechnung gegeben. Festzulegen sind allerdings noch weitere bestimmende Parameter, zunächst einmal die Wirkungsgrade von Turbinen und Nebenanlagen. Gute Turbinen erreichen, wie dargestellt, Wirkungsgrade von über 90 %. Da das technisch nutzbare Potential ermittelt werden soll, wird die Annahme getroffen, daß die jeweils günstigste Turbine eingebaut wird. Das kann eine Rohr-, Kaplan- oder Francis-Turbine, u.U. auch eine Ossbergerturbine sein. Von daher wird mit einem

-vorsichtigen- Wirkungsgrad von 80 % gerechnet. Dieser vermindert sich auf 60 %, wenn nur noch 20-30 % des maximalen Turbinendurchflusses ("Ausbaudurchfluß" oder "Schluckvermögen") erreicht werden, unter 20 % steht die Anlage still. Ebenso geht der Wirkungsgrad bei 150 % Durchfluß auf 60 % zurück, da dann der Unterwasserspiegel steigt und sich die Fallhöhe entsprechend verringert. Bei 400 % Ausbaudurchfluß wird angenommen, daß Ober- und Unterwasser praktisch ausgeglichen sind und das Kleinwasserkraftwerk somit abgeschaltet wird.

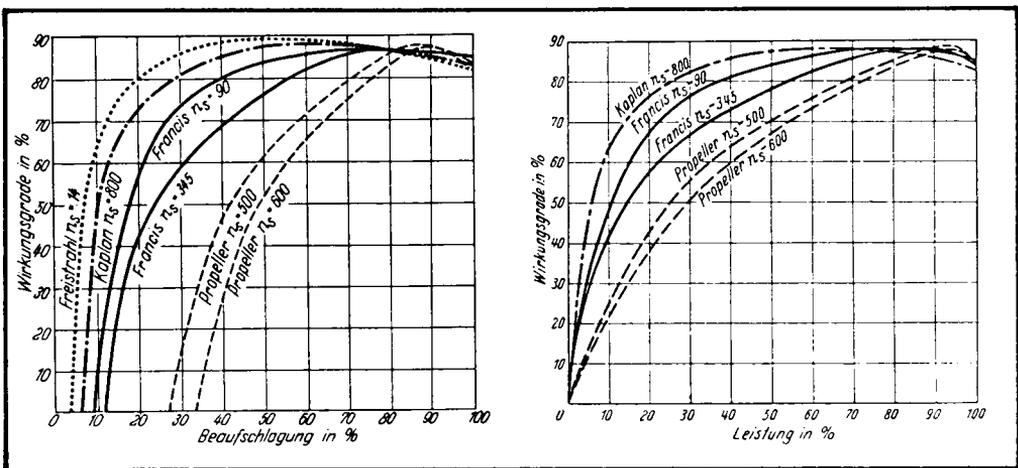


Abb. 27: Wirkungsgradkurven verschiedener Turbinen
(aus PRESS 1967: 426; n_s = spez. Drehzahl)

Diese Annahmen sind natürlich stark vereinfachend. Der tatsächliche Wirkungsgradverlauf kann aus Abbildung 27 entnommen werden. Mit jeder Abflußänderung müßten Fallhöhe und Wirkungsgrad kontinuierlich angepaßt werden. Für die Planung einer einzelnen Anlage kann und sollte dies durchgeführt werden; für insgesamt 365 Kleinwasserkraftwerke ist es jedoch nicht möglich, da diese Änderungen anlagenspezifisch sind. Wegen des ausgleichenden Effekts der Anlagen untereinander werden die Vereinfachungen aber zulässig. Da der Abfluß ohnehin nicht voraussehbar ist, kann die exakte Angabe einer zu erwartenden Jahresarbeit nicht das Ziel sein, sondern es ist die Größenordnung als Anhaltspunkt für

die Wirtschaftlichkeitsberechnung und die Ausbauleistung anzustreben.

Die Wahl des richtigen Ausbaugrades¹⁰⁶⁾ ist entscheidend für den wirtschaftlichen Betrieb. Der wiederum ist abhängig von den Abflußverhältnissen, dargestellt in den Dauerlinien der Pegelmessungen (Abb. 28), und dem Zweck, der mit der Anlage verfolgt wird. Legt man auf einen kontinuierlichen Betrieb das ganze Jahr über mehr Wert als auf die absolute Leistung, wird man einen geringeren Ausbaugrad wählen, ist jedoch eine möglichst hohe Leistung im Winter gefordert, einen entsprechend höheren. Die Tendenz geht, auch bedingt durch das verbesserte Teillastverhalten der Turbinen, zu höheren Ausbaugraden. Baute man 1891 in Rheinfelden noch ein Laufkraftwerk, dessen Durchfluß nur an 55 Tagen im Jahr unterschritten wurde¹⁰⁷⁾, so empfehlen KEYL/HÄCKERT einen Ausbau-Durchfluß, der vom mittleren Jahresgang des Abflusses nur noch an 80-100 Tagen überschritten wird.¹⁰⁸⁾ In der Regel steigt die Jahresarbeit mit dem Ausbaugrad bis zu einem Maximum an. Vorher wird aber schon die Grenze überschritten, an der die Kosten einer größeren Turbine das Mehr an Arbeit übersteigen. Das Optimum jeder Anlage muß also individuell bestimmt werden.

In dieser Untersuchung wird davon ausgegangen, daß für einen wirtschaftlichen Betrieb ein möglichst großer Teil der gewonnenen Energie selbst verbraucht werden muß, in der Regel also für die Heizung, wie das bei den meisten reaktivierten Anlagen auch geschieht. Als Ausbauwassermenge wird deshalb der mittlere Winterabfluß (WMQ) zugrunde gelegt, der im langjährigen Mittel am Pegel Eibenau einem 76tägigen und am Pegel Rheda einem an nur 77 Tagen im Jahr überschrittenen Abfluß entspricht.¹⁰⁹⁾ Vergleichsweise wird noch mit etwa 65-, 120- und 165tägigem Ausbau gerechnet (s. Abschnitt 2.5.2).

Daß die tatsächlichen Ausbaugrade der betriebenen Anlagen sehr unterschiedlich gewählt sind, zeigt Tabelle 4 der Betriebsstunden und des Schluckvermögens der Turbinen, die auf Besitzerangaben bzw. Rückrechnungen aus Leistungsangaben beruht. Wegen

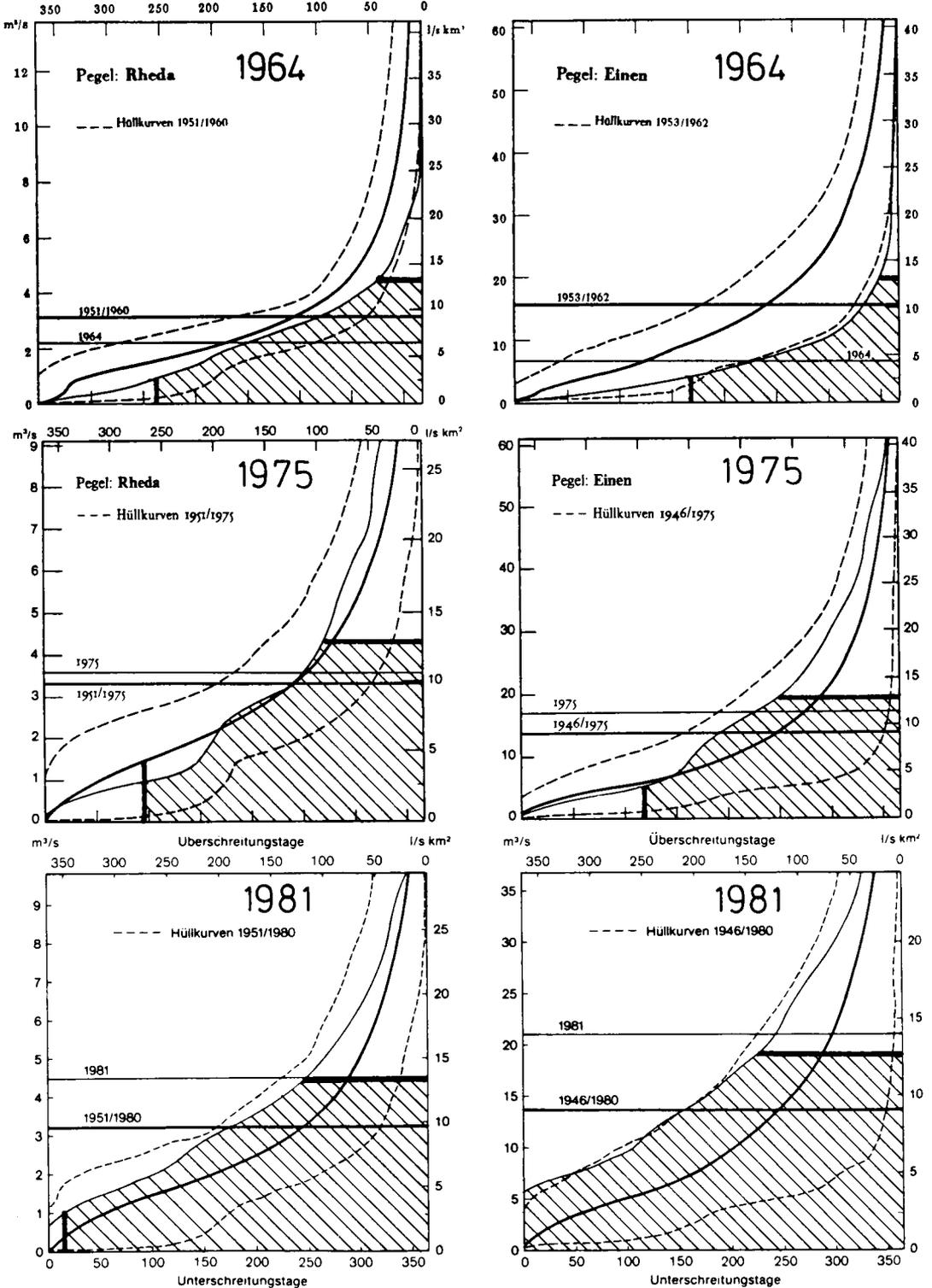


Abb. 28: Dauerlinien der Pegel Rheda und Einen 1964, 1975 und 1981 (Schraffiert: Von den Anlagen im Untersuchungsgebiet ausnutzbarer Abflußanteil bei dem angenommenen Ausbaugrad (= WMQ)) (Quelle: Dt. Gewässerkundl. Jahrbücher, 1982 erg.)

Tabelle 4 Leistung, Betriebsstunden und Ausbauwassermengen der 19 im Untersuchungsgebiet betriebenen Kleinwasserkraftwerke

Nr.	Leistung (kW)		Betriebsstunden			Schluckvermögen (l/s)	
	angegeben	berechnet	1975	1964	1981	angegeben	berechnet nach WMQ
13	6,0	12,8	7416	6575	8376	400	624
16	12,7	20,9	6720	6168	8472	1170	1409
29	3,2	1,8	4896	1776	6168	210	87
33	12,7	11,4	5400	3288	8520	820	536
35	16,0	8,8	4776	1536	6024	1550	621
36	7,8	1,7	1872	168	1968	230	36
40	17,4	22,2	6216	4560	8615	1130	1049
48	8,0	7,8	5544	3576	8640	620	444
65	11,6	7,4	4920	2040	6624	1410	651
67	21,7	11,6	4680	1440	6000	2110	821
68	15,5	12,6	5160	2832	7872	1510	891
82	8,7	6,8	5088	2688	7680	530	301
87	15,9	25,3	6888	5112	8472	1640	1790
93	15,9	8,7	4728	1536	6024	740	293
96	14,5	14,2	5544	3576	8640	1130	806
115	13,0	17,4	6216	4680	8592	660	648
135	8,7	5,2	4920	1896	6264	850	369
136	8,7	7,6	5304	3096	8256	600	383
145	7,2	2,8	3912	768	4512	640	180

der theoretischen Abflußberechnung darf die Stundenzahl nicht absolut im Einzelfall verglichen werden. Das Gesamtbild stimmt jedoch, wie sich aus der Erfassung ergibt. Sehr wenige Betriebsstunden, vor allem im Trockenjahr 1964, deuten einen hohen Ausbaugrad an, bei dem das Betriebswasser oft erst in einem Stau-
teich gesammelt werden muß, um für einige Stunden die Turbine antreiben zu können. Bestätigt wird dies durch das höhere tatsächliche Schluckvermögen gegenüber dem berechneten. In der Potentialberechnung ist der Speichereffekt evtl. vorhandener Stau-
teiche jedoch nicht berücksichtigt worden, denn zum einen er-

fordert die Elektrizitätsgewinnung einen möglichst kontinuierlichen Betrieb, zum anderen erlauben die durchlässigen Böden und geringen Reliefunterschiede nur sehr kleine Speicherbecken und nicht jede Anlage verfügt über eines.¹¹⁰⁾ Hier ist also ein weiterer Sicherheitsfaktor gegeben, der die durch Staubecken und Mühlgräben zusätzlich verursachte Verdunstung und Versickerung mehr als ausgleicht.¹¹¹⁾

Bei der Wahl der Abflußdaten sind zwei Verfahren gebräuchlich. Man kann die mögliche Jahresarbeit aus der Ausbauwassermenge bestimmen, wobei im Dauerlinien-Diagramm die Fläche des Ausbaudurchflusses berechnet wird (vgl. Abb. 28)¹¹²⁾, oder man wählt -wie für diese Arbeit- die Tageswerte aus drei konkreten Jahren zur Absteckung des Rahmens der möglichen Jahresarbeit.¹¹³⁾ Zu ihrer Ermittlung sind die mittleren Jahres-, Sommer- und Winterabflüsse von 1949 bis 1982 aufgelistet und daraus 1964 als trockenstes, 1975 als normales und 1981 als extrem nasses Abflußjahr ausgesucht worden. Die getroffene Wahl kann in Abbildung 9 nachvollzogen werden. Für die Berechnungen berücksichtigt wurden die täglichen Abflußwerte dieser Jahre an den Pegeln Rheda und Einen; der oberhalb gelegene Pegel Steinhorst besteht erst seit 1972 und konnte deshalb nicht einbezogen werden.

2.5.2 Errechnung des Wasserkraftpotentials

So kompliziert die Planung auch des kleinsten Wasserkraftwerks ist, so einfach gestaltet sich die überschlägige Berechnung der Leistung und Jahresarbeit, wenn die Faktoren der Formel erst einmal bestimmt sind. Abfluß, Fallhöhe und ein Umrechnungsfaktor, der bereits die Wirkungsgradverluste beinhaltet, genügen und erlauben eine überschlagsweise Bestimmung in PS oder kW. KÖNIG z.B. nennt als Formel: $P = 8 \cdot Q \cdot H$ (in kW).¹¹⁴⁾ Die Leistung multipliziert mit einer mittleren Betriebsstundenzahl (gemeint sind hier Vollaststunden, während die Betriebsstunden der Potentialrechnung sich auf die tatsächlich gelaufenen Stunden beziehen!)¹¹⁵⁾ ergibt die Jahresarbeit in kWh und damit auch die zu erwartende Größenordnung. Für diese Untersuchung wird eine

etwas erweiterte Formel verwandt, die sich in der Praxis bei der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe gut bewährt hat und allgemein gebräuchlich ist. Auch sie wird von KÖNIG benutzt:

$$P = \frac{1000 \cdot Q \cdot H \cdot n_T \cdot n_G}{102}$$

wobei P = Leistung (in kW), Q = Abfluß (in cbm/sec), H = Fallhöhe (in m), n_T = Wirkungsgrad der Turbine und n_G = Wirkungsgrad des Generators und der Kraftübertragung bedeuten.¹¹⁶⁾

Nach dieser Formel werden sowohl die spezifische Leistung jeder Anlage bestimmt, als auch durch Aufaddieren der erreichten Tageswerte nach vorheriger Multiplikation mit 24 Stunden die Jahresarbeiten gewonnen. Durch entsprechende Umformung läßt sich aus der Gleichung außerdem das Schluckvermögen der Turbinen rückrechnen, wenn der Besitzer nur Leistung und Fallhöhe angeben kann.

Die Berechnung erfolgte mit Hilfe der EDV, da der Weg über die Tageswerte für jede der 365 Anlagen jeweils 1096 zu ermittelnde Tagesleistungen erforderte. Der Ablauf des Programms in Fortran 77 ist folgender: Die eingelesenen Abflußwerte werden zunächst in Abflußpenden umgerechnet und daraus das Schluckvermögen der Turbine mit Hilfe der Einzugsgebietsgröße der jeweiligen Anlage bestimmt. Der Einteilung in Leistungsklassen folgt die Berechnung der Jahresarbeit. Dabei werden dem aktuellen Tagesabfluß für das geforderte Restwasser 10 % abgezogen für den Fall, daß die Anlage an einem Triebwasserkanal liegt.¹¹⁷⁾ Der gewonnene Abflußwert wird mit dem Schluckvermögen der Turbine verglichen. Liegt er zwischen 30 und 150 % bleibt der Wirkungsgrad wie erwähnt bei 0,8, zwischen 20 und 30 % oder 150 bis 400 % wird er auf 0,6 geändert, darüber oder darunter wird die Tagesarbeit auf 0 gesetzt. Zudem ist der Tagesabfluß über 100 % auf das Schluckvermögen der Turbine zu begrenzen. Die pro Tag errechneten Leistungswerte, multipliziert mit 24 Stunden, werden den entsprechenden Jahren zugeordnet und zur Jahresarbeit addiert. Getrennt wird diese Rechnung für die noch genutzten Anlagen wiederholt¹¹⁸⁾ - unter Herabsetzung der ursprünglichen Wirkungsgrade auf 0,7

für die Turbinen und 0,75 (gegenüber 0,9) für die Kraftübertragung und Generatoren. Dieser Gesamtwirkungsgrad von ca. 55 % dürfte, wie der Vergleich einiger Jahre mit den tatsächlich erzielten Jahresarbeiten des Emskraftwerks Warendorf zeigt¹¹⁹⁾, den realen Verhältnissen nahekommen. Bei der Leistungsberechnung der genutzten Anlagen wird zum einen das Schluckvermögen der Turbinen zugrundegelegt, das die Besitzer angegeben haben bzw. das aus Leistung und Fallhöhe rückgerechnet worden ist, zum anderen der Turbinendurchfluß wie in der Potentialberechnung nach dem mittleren Winterabfluß bestimmt. Die Jahresarbeiten sind nach den Besitzerangaben errechnet. Zur übersichtlichen Darstellung wird das Programm durch Plot-Unterprogramme ergänzt, die Tageswerte in Säulen darstellen (vgl. Abb. 29-30).

2.5.3 Wertung der Ergebnisse und Ermittlung der reaktivierungswürdigen Anlagen

Die im Computerausdruck ausgewiesene Gesamtleistung und die Jahresarbeiten sind theoretische Werte, die wohl technisch erreichbar, aber derzeit nicht wirtschaftlich zu realisieren sind, wie in Abschnitt 3.1.1 noch erläutert wird. Ob man die mögliche Leistung von 3,9 MW als viel ansieht, oder sie als gering erachtet, bleibt weitgehend eine Frage der subjektiven Perspektive und soll deshalb nicht erörtert werden. Fest steht jedenfalls, daß auch kleine Leistungen sich für den jeweiligen Besitzer lohnen können, wie die Beispiele der reaktivierten Anlagen zeigen. Fest steht auch, daß mit dem im Normaljahr 1975 möglichen 16 Mio. kWh Strom ca. 4000 Durchschnittshaushalte versorgt werden könnten, was z. B. einem Drittel der Haushalte in der Stadt Warendorf entsprechen würde. Dort verbrauchten die 12 000 Haushalte 1983 rd. 48 Mio. kWh.¹²⁰⁾ Unbestritten ist weiter, daß der Wert der Kleinwasserkraft durch volkswirtschaftliche Vorteile (vgl. Abschnitt 3.1.2) und in Bezug auf den Umweltschutz (vgl. Abschnitt 3.2) größer ist als ihre reine Energieleistung. Jede gewonnene Kilowattstunde ersetzt z.B. 0,3 l Öl, das teuer importiert werden müßte und mit entsprechenden Emissionen verbrannt würde.

Ohne hier auf die Ergebnisse der Einzelanlagen eingehen zu können, zeigt die Addition, daß alle 152 Altanlagen zusammen 2078 kW (durchschn. 13,7 kW) und die 213 neuen Anlagen 1833 kW (durchschn. 8,6 kW) liefern könnten. Insgesamt war das Gebiet also recht gut genutzt und die besten Standorte schon vergeben. Alte Staurechtsakten, die bei den Unteren Wasserbehörden eingesehen worden sind, zeigen, daß früher sehr genaue Berechnungen angestellt wurden, um die zulässige maximale Stauhöhe und die zu erwartende Arbeit zu bestimmen. Die Leistung der noch genutzten Anlagen ist mit 225 kW (durchschn. 11,8 kW) nach Besitzerangaben bzw. 150 kW (durchschn. 7,9 kW) nach Berechnung dagegen recht gering. Alle Kleinwasserkraftwerke zusammen hätten im nassen Jahr 1981 gut 22 Mio kWh erzeugen können, im trockenen Jahr 1964 9 Mio. kWh. Das vom Abfluß her durchschnittliche Jahr 1975 liegt mit etwas mehr als 16 Mio. kWh tatsächlich ziemlich genau in der Mitte. Von den noch betriebenen Anlagen können zwischen 0,356 Mio. (1964) und 1,08 Mio. kWh (1981) erwartet werden, im Durchschnittsjahr 1975 rd. 0,85 Mio kWh. Die maximale Arbeit, die an einem Tag mit günstigsten Abflußverhältnissen erreicht werden kann, liegt bei 93 847 kWh.

Die Jahresabläufe im einzelnen zeigen die Abbildungen 29-30. Die abrupten Sprünge in den Säulen sind bedingt durch die schrittweise Veränderung des Wirkungsgrades bei bestimmten Abflußwerten statt einer dynamischen Anpassung. Zudem muß bei der Betrachtung berücksichtigt werden, daß die Abflußverhältnisse am Pegel Rheda gleichmäßiger ablaufen als am Pegel Einen. Der Wirkungsgrad der mit Rheda berechneten Leistungen kann noch bei 0,8 liegen, während die mit Einen berechneten Anlagen aber schon auf 0,6 gesetzt worden sind. Der eine Teil der Kleinwasserkraftwerke kann infolge Abflußmangels oder Hochwassers schon stillstehen, der andere aber wegen günstigerer Abflußverhältnisse noch laufen.

Vergleichsrechnungen mit höheren und niedrigeren Ausbaugraden (Tab. 5) zeigen deutlich, wie wichtig die Festlegung dieses Parameters ist. Geht man von 76/77 auf 65 Tage herunter, fallen zwar noch einige Sommertage ganz aus, die Leistung insgesamt steigt aber. Umgekehrt ergeben 120- und 165tägige Durchflußmen-

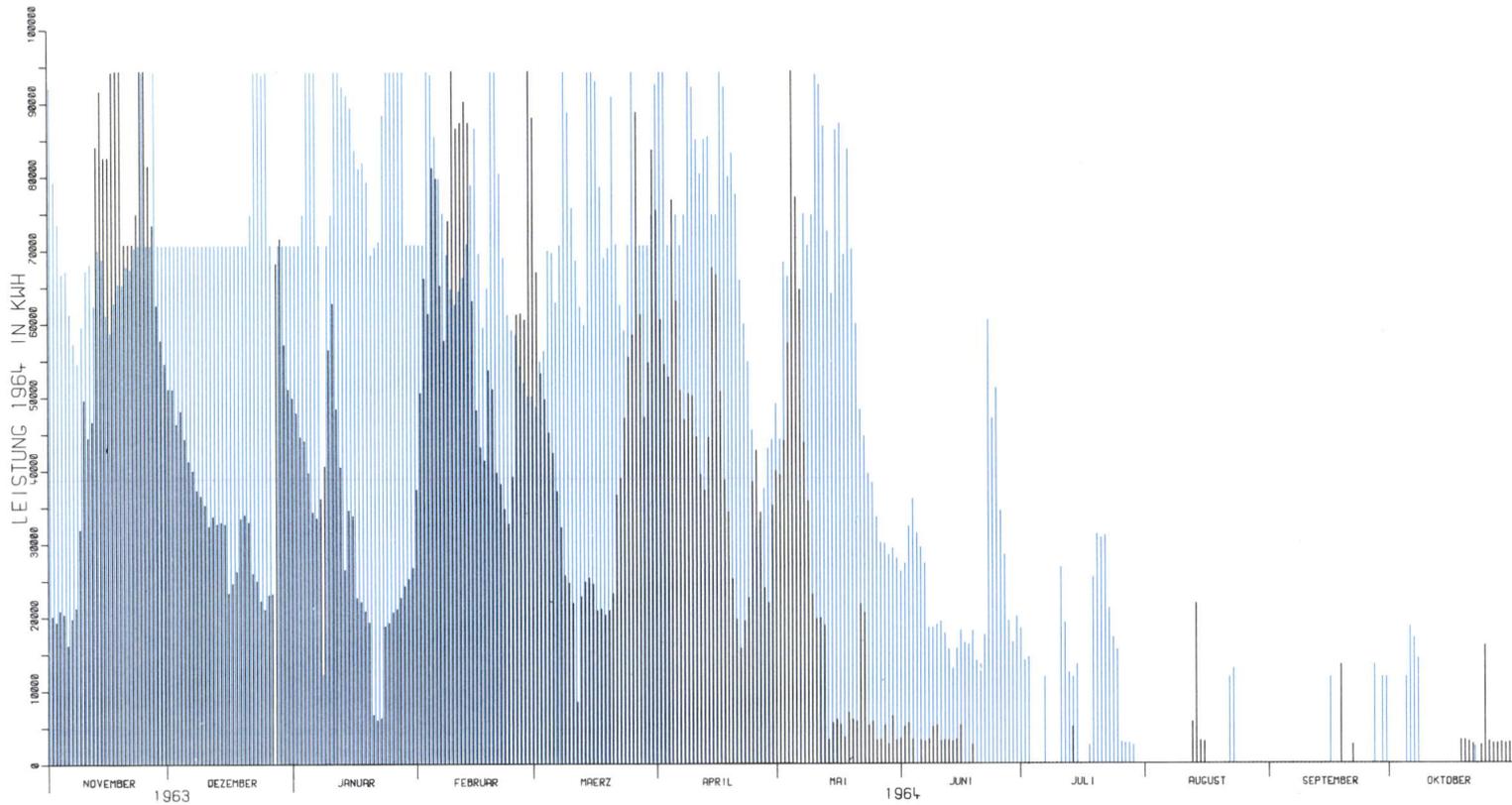


Abb. 29: Tagesleistungen der 365 berechneten Kleinwasserkraftwerke im Trockenjahr 1964 und Durchschnittsjahr 1975 (blau)

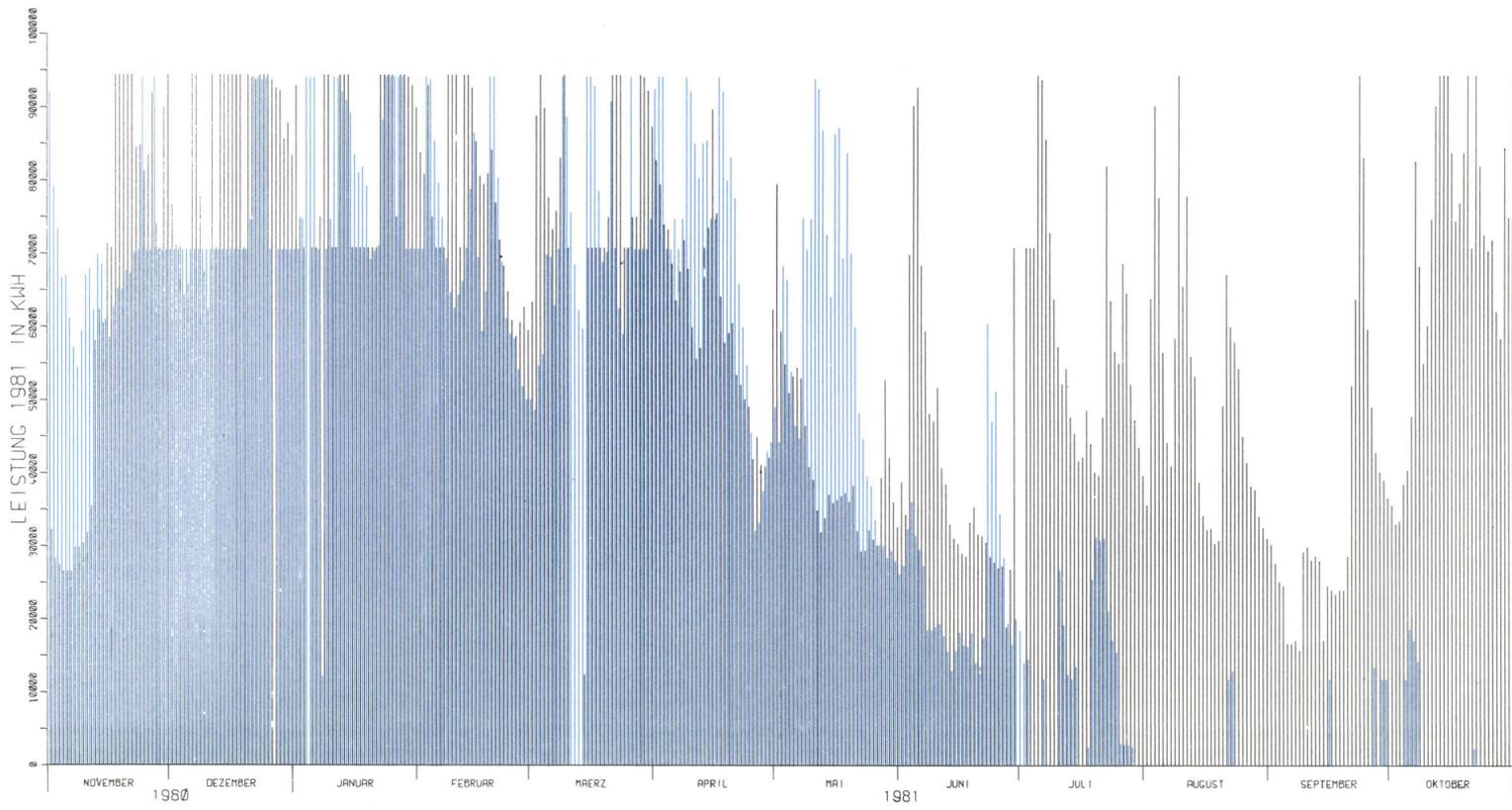


Abb. 30: Tagesleistungen der 365 berechneten Kleinwasserkraftwerke im Feuchtjahr 1981 und Durchschnittsjahr 1975 (blau)

gen zwar einen gleichmäßigeren Betrieb übers Jahr, aber auch wesentlich geringere Gesamtleistungen. Allerdings ist, wie erläutert, nicht die absolute Leistungsspitze alleiniges Entscheidungskriterium, sondern auch das Betriebsziel. Eine Heizung darf nicht an wenigen Tagen maximale Wärme liefern, sondern muß im Winter kontinuierlich laufen. Deshalb wird am Orientierungswert des mittleren Winterabflusses festgehalten, zumal die Jahresarbeiten bei einem Ausbaugrad von 65 Tagen kaum höher liegen (1964 sogar geringer).

Tabelle 5 Veränderungen der Leistungen, Jahresarbeiten und Betriebsstunden in Abhängigkeit vom Ausbaugrad

	Ausbaugrad			
	76/77 Tage	65 Tage	120 Tage	165 Tage
Gesamtleistung:	3910 kW	4308 kW	2807 kW	2065 kW
alte Mühlen	2078 kW	2299 kW	1498 kW	1103 kW
theor. Mühlen	1833 kW	2009 kW	1310 kW	962 kW
Jahresarbeiten:	47318 MWh	49446 MWh	39813 MWh	31517 MWh
1975	16155 MWh	17125 MWh	13344 MWh	10057 MWh
1964	9011 MWh	8995 MWh	8874 MWh	8118 MWh
1981	22152 MWh	23326 MWh	17595 MWh	13342 MWh
Betriebsstunden: (für Pegel Einen)	19656 Std.	19392 Std.	21288 Std.	21792 Std.
1975	6384 Std.	6192 Std.	7416 Std.	7512 Std.
1964	4680 Std.	4560 Std.	5472 Std.	6168 Std.
1981	8592 Std.	8640 Std.	8400 Std.	8112 Std.

Eine Einteilung in Leistungsklassen, die Abbildung 16 zeigt, macht den hohen Anteil der Kleinanlagen deutlich. 130 Kleinwasserkraftwerke unter 3 kW tragen aber nur mit 227 kW zur Gesamtleistung bei, die allein vom Emskraftwerk Warendorf mit 344 kW weit übertroffen wird. Die sechs Anlagen über 100 kW liefern dagegen mit 1314 kW schon ein Drittel der Gesamtleistung. Dies und die folgenden Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit zei-

gen, daß -ohne geeignete kleine Anlagen im Einzelfall zu über-
sehen- das Hauptaugenmerk zunächst auf den mittleren und grös-
seren Kleinwasserkraftwerken liegen sollte, will man möglichst
schnell einen großen Beitrag dieser erneuerbaren Quelle zur
Energieversorgung erreichen.

Bei all diesen gewonnenen Potentialwerten stellt sich natürlich
die Frage, ob sie den Vergleich mit der Wirklichkeit bestehen.
Das läßt sich durch den aus Tabelle 10 im Anhang ermöglichten
Vergleich der angegebenen mit den berechneten Leistungen der
Kleinwasserkraftwerke beurteilen, allerdings nur unter Berück-
sichtigung weiterer Aspekte, die aus der Kenntnis der örtlichen
Situation gewonnen werden müssen:

- An den Oberläufen sind im Untersuchungsgebiet vornehmlich Müh-
len errichtet worden, die der geringen Abflüsse wegen jeweils
nur den Inhalt des Stauteichs haben abarbeiten können, um dann
wieder auf das allmähliche Vollaufen zu warten. Hier sind die
angegebenen Leistungen deshalb größer als die kontinuierlich
möglichen, die die Rechnung ergibt.
- An den Unterläufen steht z.T. mehr Betriebswasser zur Verfü-
gung, als für den Mühlenbetrieb notwendig ist. Der Ausbaugrad
liegt teilweise recht niedrig, so daß hier umgekehrt vielfach
die berechneten über den angegebenen Leistungen liegen.
- Zu beachten ist ferner eine mögliche Unter- oder Überschätzung
des Abflusses an der jeweiligen Anlage wegen des schematischen
Verfahrens.

Ein Beispiel für eine Anlage mit Speicherbetrieb wäre Nr. 36 bei
angegebenen 7,8 kW und berechneten 1,7 kW. Nicht voll ausgenutzt
war dagegen die Lutter durch Anlage Nr. 87 mit 16,5 kW gegenüber
den berechneten 25,3 kW (1984)¹²¹⁾. Werden diese Anlagen und
spezifische Einzelfälle ausgeschieden, liegen die berechneten
Leistungen i.d.R. -wenn zudem die mittlere und tatsächliche Ab-
flußspende des Einzugsgebietes gut übereinstimmen wie z.B. beim
Reiherbach- in etwa auf der Höhe der angegebenen Werte oder ge-
ringfügig darunter. Insgesamt darf also davon ausgegangen wer-
den, daß das Potential eher etwas höher liegt, als mit 3,9 MW
berechnet.

Aufgeschlüsselt nach Wasserläufen lassen die errechneten Potentialwerte die geringe derzeitige Ausnutzung deutlich werden. Tabelle 6 zeigt, daß insgesamt nur 4,5 % der nutzbaren Fallhöhe und 5,3 % des Leistungspotentials tatsächlich ausgeschöpft werden, wobei bezüglich der Leistung noch ein kontinuierlicher Betrieb unterstellt ist. An der Spitze der Flüsse liegt die Dalke, deren Potential zu 14,1 % genutzt wird. Wie auch die weiteren noch gut genutzten Wasserläufe (Reiher- und Abrooksbach) zeichnet sie sich durch einen relativ konstanten Abfluß aus. Ergänzt werden die in der Tabelle erfaßten Werte durch einen Vergleich des tatsächlichen Abflusses mit dem berechneten. Dazu sind an zwei Tagen vor allem die größeren Wasserläufe an ein bis drei Standorten von alten oder theoretischen Anlagen aufgesucht und jeweils vorher und am folgenden Tag der Abfluß am Pegel Einem abgerufen worden, um die aktuelle Abflußspende zu erhalten. Die damit errechneten Sollwerte des Abflusses sind durch Schätzung mit dem Istwert verglichen worden. Als "Eichwert" für das Augenmaß ist dabei der Abfluß an der Mühle Strothmann am Reiherbach (Nr. 82, vgl. Bild 6) herangezogen worden, der durch die Öffnung der Turbine bekannt ist. Liegt der Ist- eindeutig über dem Sollwert, ist in die Tabelle "++" eingetragen worden, bei rd. dreifachem Istwert und darüber "+++". Stimmen die Werte ungefähr überein, gibt es ein "+-", ist der Istwert deutlich geringer ein "--".

Der Überblick zeigt, daß -wie erläutert und aus Tabelle 1 z.T. schon ersichtlich- die Oberläufe in der Berechnung oft unterbewertet sind, die Unterläufe dagegen den theoretischen Werten i.d.R. nahekommen. Bestätigt wird durch die geringe Zahl der Unterschreitungen im Vergleich zu den Überschreitungen die Vermutung, daß die Mühlenbauer früherer Jahrhunderte mit den Abflußverhältnissen gut vertraut waren und sich die wasserreicheren Bäche ausgesucht haben. Denn das Mehr an Abfluß an den genutzten Wasserläufen muß für das Gesamtgebiet durch unter dem Durchschnitt liegende Bäche ausgeglichen werden.

Weiterhin ist versucht worden, die bereits jetzt oder in naher Zukunft reaktivierbar erscheinenden Kleinwasserkraftwerke heraus-

Tabelle 6 Wasserkraftpotential und reaktivierungswürdige Anlagen im Untersuchungsgebiet nach Wasserläufen

Wasserlauf	Niederschlagsgebiet (qkm)	Lauf-länge (km)	Fallhöhe (m)					Leistung (kW)				Jahresarbeit 1975		Reaktivierbare Anlagen				Abfluß berechn.:tatsäch.			
			gesamt	genutzt heute (1)	genutzt früher	nutzbar (2)	% (2):(1)	früher	heute (3)	potent. (4)	% (4):(3)	tatsäch-lich (kWh)	poten-tiell (kWh)	Nr.	Leistung gesamt (kW) (5)	Jahresar-beit 1975 (kWh)	% (4):(3)+(5)	Ober-lauf	Mittel-lauf	Unter-lauf	
Ems	1499,00	75,53	86,0	2,1	37,0	61,7	3,4	1168,3	20,9	1812,2	1,2	79 310	7445 929	5/127	346,3	1453 449	20,3	++	+-	+-	
Furlb.	48,30	14,13	53,5	2,9	18,3	46,8	6,2	64,2	12,8	163,0	7,9	43 538	554 945	9	9,5	32 262	13,7		+-	--	
Fortb.	33,70	18,68	58,6	--	5,5	47,0	--	7,0	--	45,5	--	--	154 719	--	--	--	--	--	+-	--	
Dalke	243,93	23,67	83,5	11,0	27,9	78,2	14,1	129,8	44,2	194,2	22,8	185 483	814 620	30/34/141	33,3	139 529	39,9	+-	++	+-	
Gassel.	17,24	15,10	21,5	--	5,5	17,0	--	5,4	--	16,2	--	--	67 750	--	--	--	--	--	--	--	
Menkeb.	26,51	21,40	135,5	6,7	13,7	112,7	5,9	6,3	1,7	99,8	1,7	7 225	418 782	38	3,1	13 170	4,8	+++	--	+-	
Wapelb.	155,15	34,16	83,3	2,5	16,7	71,2	3,5	41,7	7,8	160,7	4,9	32 945	674 834	49/51	17,8	74 755	15,9	+++	+-	+-	
Rodenb.	14,33	9,00	32,5	--	1,2	14,7	--	1,2	--	12,1	--	--	50 991	--	--	--	--	--	--	++	
Ölbach	68,85	28,81	94,7	5,6	34,3	75,8	7,4	85,2	31,6	176,1	17,9	132 462	738 873	60	4,9	20 617	20,7	++	++	+-	
Kirchb.	5,67	2,50	25,0	--	3,2	20,2	--	1,5	--	7,7	--	--	32 159	--	--	--	--	--	--	--	
Lander.	15,21	10,50	48,0	--	4,5	33,0	--	4,2	--	31,8	--	--	133 236	--	--	--	--	--	--	++	
Lutter	140,38	25,15	70,2	2,0	28,4	63,4	3,2	80,7	25,3	169,0	15,0	106 158	709 206	75/76/84/85/86	51,1	214 148	45,2	+++	++	++	
Reiher.	26,84	9,40	44,0	3,2	23,3	31,8	10,1	30,6	6,8	44,6	15,2	28 563	187 969	83	4,5	18 888	25,3	++	--	+-	
Abrooks.	69,82	20,54	127,5	6,7	21,4	52,4	12,8	45,8	22,9	107,4	21,3	96 228	451 248	90	1,7	7 080	22,9	--	++	++	
Rhedaer	57,57	18,05	51,2	--	12,5	42,0	--	18,5	--	88,2	--	--	370 588	106	11,1	46 526	12,6	--	+-	+-	
Künse	9,66	10,40	153,2	--	18,5	80,0	--	4,2	--	27,7	--	--	115 696	--	--	--	--	--	--	++	
Axtbach	226,14	34,80	80,5	3,8	28,3	53,5	7,1	127,0	17,4	241,0	7,2	72 990	1012 098	112/116	33,3	139 711	21,0	++	+-	+-	
Beilb.	48,86	18,30	45,5	--	12,0	32,5	--	19,8	--	60,5	--	--	253 445	--	--	--	--	--	+-	+-	+-
Baarb.	34,68	12,65	47,0	--	13,5	30,5	--	9,7	--	32,2	--	--	134 842	--	--	--	--	--	+-	+-	
Hessel	188,97	40,60	116,0	4,8	31,8	78,8	6,1	132,9	12,8	243,1	5,3	53 636	1020 793	--	--	--	5,3	++	++	+-	
N-Hessel	11,82	7,00	42,7	--	9,5	33,0	--	3,9	--	13,9	--	--	58 263	--	--	--	--	++	--	++	
Bruchb.		8,60	43,0	--	3,0	9,5	--	4,1	--	9,5	--	--	39 658	--	--	--	--	--	--	+-	
Halsten	19,12	3,10	14,9	--	8,0	8,0	--	2,0	--	2,0	--	--	8 460	--	--	--	--	++	--	--	
Aabach	60,50	20,72	52,2	2,2	20,4	43,4	5,1	23,0	2,8	58,5	4,8	11 769	245 675	147	6,6	27 843	16,1	++	++	+-	
Dissen.	18,70	12,20	111,8	--	4,0	42,5	--	2,7	--	36,3	--	--	153 054	--	--	--	--	--	++	+-	
GESAMT	1499,0*	495,00	1721,8	53,5	402,4	1179,6	4,5	2019,7	207,0	3853,2**	5,3	850 307	15847 833	21 St.	523,2	2187 978	19,0				

* Kann nicht aus den Einzeldaten addiert werden, weil die Einzugsgebiete der Nebenbäche in denen der Flüsse enthalten sind und somit doppelt gezählt werden.

**Die Differenz zur Potentialberechnung erklärt sich aus dem Weglassen weniger Anlagen, die an nicht näher untersuchten Seitenbächen liegen

++/+- vgl. Abschn. 2.5.3

zusuchen. Voraussetzungen dafür sind ein brauchbares Gebäude, möglichst ein Wehr und eine vorhandene Turbine oder ein Wasserrad. Bei größeren Leistungen kann das eine oder andere fehlen, da dann auch höhere Investitionen vertretbar werden. Im übrigen wurde die Auswahl subjektiv nach den durch den Besuch vor Ort gewonnenen Erkenntnissen und im Vergleich mit von der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe reaktivierten Anlagen getroffen. Angenommen ist eine Förderung durch das Land in Höhe von rd. 25 % der Investition. Bei höherer Förderung, höheren Verkaufserlösen für Strom oder der Inkaufnahme längerfristiger Rentabilität (etwa nach 10 Jahren und mehr) könnten weitere Anlagen reaktivierungswürdig werden. Die so ermittelten 21 Kleinwasserkraftwerke liegen erwartungsgemäß hauptsächlich an den größeren Wasserläufen mit überdurchschnittlichem oder mindestens durchschnittlichem Abfluß. An der Lutter, an der nur noch ein Kleinwasserkraftwerk in Betrieb ist, erscheinen fünf Anlagen reaktivierbar, womit 45,2 % des Potentials ausgenutzt werden könnten. Einbezogen ist auch das Emskraftwerk Warendorf, denn das Problem der Verengung des Durchflußquerschnitts durch einen Turbineneinbau erscheint dem Verf. nicht unüberwindbar, zumal über Emssee und alten Emsarm eine umleitende Verbindung zwischen Ober- und Unterwasser bereits heute besteht.

Diese 21 Kleinwasserkraftwerke könnten mit 523,2 kW die bisher genutzte Leistung fast verdreifachen, wodurch das Potential allerdings auch erst zu 19 % ausgeschöpft wäre. Etwa 2,2 Mio kWh könnten in einem Normaljahr erwartet werden. Eine konkrete Möglichkeit für ein neues Kleinwasserkraftwerk ergibt sich z.Zt. nicht, da ein wirtschaftlicher Betrieb selbst bei der Annahme üblicher Strompreissteigerungen unter den beschriebenen Flachlandbedingungen nach derzeitigen Preisverhältnissen nicht erreichbar ist, wie in Abschnitt 3.1.1 noch deutlich werden wird.

2.5.4 Vergleich mit anderen Potentialstudien

Erst seit wenigen Jahren liegen Studien von Flußgebieten sowie für das Land Hessen vor, die die mögliche Wasserkraftnutzung abschätzen und den Bestand erfassen. In der Bundesrepublik sind

die Wertach (Bayern), Wiese (Baden-Württemberg) und Lenne (Nordrhein-Westfalen) durch den Bundesverband Deutscher Wasserkraftwerke untersucht worden.¹²²⁾ Das Land Nordrhein-Westfalen hat an der Oberen Ruhr und Lenne das Kleinwasserkraftpotential feststellen¹²³⁾, das Land Hessen insgesamt das Flächen- und Linienpotential¹²⁴⁾ sowie in einer Detailstudie das ausbauwürdige Potential des Werra-Meißner-Kreises ermitteln lassen.¹²⁵⁾ Mehrere österreichische Flußgebiete sind im Rahmen von Diplomarbeiten am Institut für Wasserwirtschaft Wien untersucht worden.¹²⁶⁾ Es sind also nur kleine Teilgebiete genauer erfaßt und die tatsächliche wie auch die mögliche Wasserkraftnutzung in der gesamten Bundesrepublik ist z.Zt. unbekannt. Die Studien beweisen allerdings das wiedererwachende Interesse.¹²⁷⁾

Im Gegensatz zu der vorliegenden Arbeit befassen sich all diese Untersuchungen mit Mittel- oder Hochgebirgsflüssen. Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt, warum das Interesse für ein Flachlandgebiet so gering ist. Die Schwarza in Österreich entwässert 725 km², also nur die Hälfte des betrachteten Emsgebietes, weist aber auf gut 20 km Lauflänge einen Höhenunterschied von 330 m auf. Das reicht schon für ein Linienpotential von 222 GWh (1 GW= 1000 MW) gegenüber dem hier berechneten Potential von 16 GWh. Im Emsgebiet sind noch 19 Kleinwasserkraftwerke mit ca. 200 kW in Betrieb (1984), an der Schwarza sind es 30 Anlagen mit 7700 kW.¹²⁸⁾

Auch die mögliche jährliche Energieerzeugung der Lenne und Ruhr, die im Mittelgebirge fließen, liegt umgerechnet auf GWh/km² um über eine Zehnerpotenz höher als im Untersuchungsgebiet. Bei einem Einzugsgebiet von 3446 km² werden derzeit 380 GWh erzeugt und 459 GWh für wirtschaftlich realisierbar gehalten. 0,13 GWh/km² stehen somit 0,011 GWh/km² im Untersuchungsgebiet gegenüber.¹²⁹⁾ Nach den Erhebungen in Preußen 1914¹³⁰⁾ wurden im Ruhr-/Lennegebiet sogar 559 GWh erzeugt, die aber wegen der konkurrierenden Nutzungsansprüche heute wohl nicht mehr zu erreichen wären. Hochgerechnet auf ganz Nordrhein-Westfalen wird in einer Studie (1984) geschätzt, daß 1,4 % des Elektrizitätsver-

brauchs 1982 von 130 000 GWh durch Kleinwasserkraft erzeugt wurden. Zugleich wird eine Steigerung um nur 0,2 % für möglich gehalten, wenn auch der Anteil von 1,6 % als unbedeutend anzusehen sei.¹³¹⁾ Dieser Eindruck entsteht aber nicht nur durch die relative Betrachtung sondern auch durch Ungenauigkeiten¹³²⁾ und der Annahme zu hoher Reaktivierungs- und Ausbaurkosten im Vergleich mit den praktischen Erfahrungen der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe (vgl. Tab. 7).¹³³⁾

3. ASPEKTE DER REAKTIVIERUNG UND DES NEUBAUS VON KLEINWASSERKRAFTWERKEN

Beispiele alter Anlagen und die Potentialberechnung haben gezeigt, daß Kleinwasserkraft im Flachland zwar nicht die alleinige Energieversorgung übernehmen kann, aber einen wesentlich größeren Beitrag dazu liefern könnte, als es heute der Fall ist. Im folgenden soll verdeutlicht werden, warum die Kleinwasserkraft vor allem aufgrund wirtschaftlicher Probleme so schwer aus ihrer relativen Bedeutungslosigkeit herausfindet. Andererseits soll aber auch dargestellt werden, daß von der volkswirtschaftlichen Seite her und aufgrund der überwiegend positiven Auswirkungen auf die Umwelt betriebswirtschaftliche Überlegungen allein nicht für eine Reaktivierung oder einen Neubau entscheidend bleiben dürfen. Wenn der einzelne Besitzer auch sein Hauptaugenmerk auf eine Wirtschaftlichkeit legen muß, so kann der Staat durch Zuschüsse, wie sie seit Jahren bereits vom Land Nordrhein-Westfalen für alle anderen erneuerbaren Energiequellen außer der Wasserkraft gewährt werden¹⁾, diese zusätzlichen Vorteile fördern und die hohen Anfangsinvestitionen mildern. Schließlich ist auch die Frage der Staurechte anzusprechen, denn jede Gewässernutzung ist heute genehmigungspflichtig und die Eintragung des Wasserrechts also nicht die geringste der Hürden bei der Inbetriebsetzung eines Kleinwasserkraftwerks, wenn kein altes Recht vorhanden ist. Einleitend zu den Wirtschaftlichkeitsfragen sollen die Nutzungsmöglichkeiten aufgezeigt werden, weil ein rentabler Betrieb auch davon wesentlich abhängt. Untersucht werden müssen zudem die positiven und negativen Auswirkungen eines Kleinwasserkraftausbaus auf die Umwelt.

3.1 Nutzungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit

Von den zahlreichen Nutzungsmöglichkeiten früherer Jahrhunderte verengt sich der Wasserkrafteinsatz heute immer mehr auf eine Energieerzeugungsart. Der Einfachheit halber wird i.d.R. Strom produziert, der leicht transportierbar und universell einsetzbar ist. Der Ort der Energienutzung wird damit auch unabhängig vom

Standort der Wasserkraftanlage.

Ein direkter Antrieb von Getreidemühlen oder Sägewerken scheidet heute bei der Reaktivierung oder dem Neubau eines Kleinwasserkraftwerks aus. Selbst wenn es sich um den Antrieb von Mahlwerken handelt, wird zunächst Strom erzeugt, um die hohen Reibungsverluste eines Direktantriebs zu vermeiden. Im wesentlichen bieten sich für die betrachteten Kleinwasserkraftwerke des Untersuchungsgebiets drei Nutzungsmöglichkeiten an:

- Elektrizitätserzeugung parallel zum Netz, Verbrauch im eigenen Haushalt und/oder direkt für die Heizung
- Elektrizitätserzeugung parallel zum Netz und Einsatz einer Wärmepumpe für die Heizung oder
- direkter Antrieb einer Wirbelstrombremse zur Wärmegewinnung.

Bei kleinsten Turbinenleistungen (etwa um 6 kW) und einer geforderten Heizleistung, die wesentlich über der Turbinenleistung liegt, empfiehlt sich i.d.R. die Kombination mit einer Wärmepumpe, da sonst die benötigte Wärmemenge nicht bereitgestellt werden kann. Dabei bietet es sich an, die Vorlauftemperatur aus dem Wasserlauf zu gewinnen, was gegenüber der Luft den Vorteil hat, daß Temperaturschwankungen ausgeglichen werden. Die Absenkung der Wassertemperatur im Flußlauf bleibt praktisch bedeutungslos wegen des großen Wärmeinhalts des Wassers. Ein Liter Abfluß pro Sekunde liefert bei einer Absenkung um ein Grad bereits 4,2 kW. Die Kombination von Wasserkraft und Wärmepumpe erweist sich als äußerst effizient: Aus den 100 % potentieller Energie des Wassers wird eine Wärmemenge von 255 % erzeugt.²⁾ Bei größeren Anlagen kann ein kleines Fernwärmenetz aufgebaut werden; denn Wärme darf der Besitzer eines Kleinwasserkraftwerks an Dritte verkaufen, Strom nur an das örtlich zuständige Energieversorgungsunternehmen (EVU).

Die Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe hat ein Pilotprojekt an der Ihne in Attendorn betreut, bei dem die Turbine mit 9-10 kW Leistung Strom liefert und damit eine Wärmepumpe angetrieben

wird. Diese beheizt ein 230 m² großes Wohnhaus und liefert für elf Personen das warme Wasser. Entgegen den Annahmen des örtlichen EVU Elektromark kann zusätzlich noch Überschußstrom ins Netz gespeist werden.³⁾ Stimmen Heizbedarf und Turbinenleistung in etwa überein, kann sich statt der Wärmepumpe der Einbau einer Wirbelstrombremse empfehlen, die geringere Investitionen erfordert. Dabei wird in einem mit Hydrauliköl gefüllten Tank, der von einem Wassermantel umgeben ist, ein Turbinenrad gegen ein gleiches, feststehendes gedreht. Die großen Reibungskräfte, die dabei entstehen, erwärmen das Öl und das wiederum das umgebende Wasser, welches direkt für die Heizung genutzt werden kann. Im Untersuchungsgebiet treibt das Kleinwasserkraftwerk Nr. 35 seit mehreren Jahren eine Wirbelstrombremse an und ersetzt damit rund 5000 l Öl pro Jahr. Die Landwirtschaftskammer fördert ein Pilotprojekt in Nottuln an der Stever und kommt dabei auf vergleichbare Beträge.⁴⁾

Am weitesten verbreitet ist die reine Stromerzeugung mit einer Parallelschaltung zum Elektrizitätswerk, an das die Überschüsse verkauft werden können oder von dem Strom bezogen werden kann, wenn das Wasser nicht reicht. Wegen der geringen Verkaufserlöse muß der Besitzer eines Kleinwasserkraftwerks darauf bedacht sein, möglichst viel von seiner erzeugten Elektrizität selbst zu verbrauchen. Vielfach wird deshalb und wegen der hohen Investitionskosten keine Wärmepumpe angeschlossen, sondern direkt geheizt. Trotz des Zwangs, möglichst viel selbst zu verbrauchen, bleibt Energieverschwendung natürlich unsinnig, denn ein größerer Überschuß erbringt eben auch mehr Geld. Der Erlös kann dabei erheblich zur Wirtschaftlichkeit beitragen. Der von der Landwirtschaftskammer beratene Müller Karl-Heinz Redeker in Vlotho erwirtschaftete im ersten Jahr nach der Reaktivierung bereits 13 000 DM, wobei 6000 DM auf verkauften und 7000 DM auf nicht mehr gekauften Strom entfielen.⁵⁾ Da im Untersuchungsgebiet die Winterabflüsse erheblich über den Sommerwerten liegen und auch im Winter konstant mit ausreichenden Abflüssen gerechnet werden kann, sollte immer an eine Kombination mit der Heizung gedacht werden, da auf diese Weise Wasserangebot und Bedarfsstruktur am besten zur Deckung gebracht werden können.

3.1.1 Betriebswirtschaftliche Betrachtung

Staatliche Träger oder private Unternehmer mit liquidem Vermögen können es sich u.U. leisten, volkswirtschaftliche Aspekte in die Überlegungen zur Reaktivierung oder zum Neubau eines Kleinwasserkraftwerks einfließen zu lassen. Von den wenigen Anlagen im Kommunalbesitz der Städte Bielefeld und Gütersloh abgesehen sind die Mühlen im Untersuchungsgebiet -und auch im allgemeinen- jedoch in der Hand von Privatbesitzern, vornehmlich Landwirten. Wegen fehlender Mittel sind sie auf eine Amortisation in angemessener Zeit angewiesen. Ihr Spielraum bei der Investitionsentscheidung verengt sich praktisch auf die Wahl dieses Zeitraums. Letztendlich wird deshalb die Frage, ob die Investition in wenigen Jahren rentabel ist, darüber entscheiden, ob die Anlage weiter verfällt oder zu neuem Leben erweckt wird. Mangelnde Wirtschaftlichkeit hat vielfach zur Stilllegung und zurückgewonnene Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu Öl, Gas und Strom zu den Reaktivierungen geführt. Erst im Grenzbereich, der durch den nicht vorhersehbaren Abfluß und durch die ebenfalls unbekanntenen Preissteigerungen der Konkurrenzenergien ausgeweitet wird, können das Interesse des Betreibers am handwerklichen Arbeiten oder die Umweltfreundlichkeit der Wasserkraft zum Tragen kommen.

Neben der Wahl der richtigen Turbinenanlage ist die Wirtschaftlichkeitsfrage am schwersten zu entscheiden, weil sie von sehr vielen Faktoren abhängt und anlagenspezifisch ist. Erfahrungswerte gehen von 3000-6000 DM/kW installierter Leistung bei Reaktivierungen und von 8000-12000 DM/kW bei Neubauten aus.⁶⁾ Sie können aber auch darunter liegen, nach Erfahrungen der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe bei 1500-4700 DM/kW für Wiederinbetriebnahmen und 6000-7000 DM/kW bei Neubauten⁷⁾, wofür Tabelle 7 einige Beispiele aufführt. Die geringeren Kosten gelten eher für günstige Standorte und abflußreiche, gebirgige Regionen sowie relativ gut erhaltene Anlagen. Die höheren reichen auch für weitgehend verfallene Mühlen, bei denen z.B. eine neue Turbine beschafft werden muß. Außerdem stellen die höheren Werte wohl die Untergrenze für Kleinwasserkraftwerke im Untersuchungsgebiet,

Tabelle 7 Von der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe beratene Anlagen-Reaktivierungen, Neu- und Umbauten

Besitzer	Fluß	Fallhöhe (m)	Schluckvermögen (l/s)	Leistung (kW)	Inbetriebnahme	Investition (DM)	DM/kW	Jahresarbeit (kWh)	EVU	Rückfluß	Bemerkungen/ Amortisationszeit
A. König, Attendorrn-Listerscheid	Ihne	2,80	292	9,0	18.1.82	23778	2642	21 291	Lister-Lennekr.		Betrieb einer Wärmepumpe, Amortisation ca. fünf Jahre
K.H. Redeker, Kalletal	Kalle	3,80	1500	17,5+30	11.1.82	70000	1474		Wesertal		Strom Eigenbedarf Mühle und Verkauf, ca. 3 Jahre
Früchte, Leeden	Pötterbach	3,00	150-260	5,6	3/83	11000	1964	9-10 000	RWE		oberschl. Wasserrad, ca. 4 1/2 - 5 Jahre
Schulze-Kump, Bündel-Südtal	Else	1,88	1400	29,0	6/82	55000	1897		EMR		ca. 6 Jahre
A. Meyer, Nordborchen	Alme	2,70	1200	18,8	2/84	72000	3830	60 000	Pesag		aut. Rechenreinigung
H. Graul, Bad Berleb.	Eder	3,20	511	18,0	22.9.83	100000	5556	69 000 (1. Jahr)	VEW		Neuanlage, ca. 8 Jahre
H. Schlepphorst, Salzkotten-Verne	Heder	1,75	3000	2 x 15	21.9.83	85000	2833	196 000	VEW		Strom Eigenbedarf und Verkauf, ca. 5 Jahre
D. Schulze-Westerrath, Nottuln	Stever	5,00	480	13,0	1/84	56000	4308	5 500 1 Heizöl		4125 DM/a	Wirbelstrombremse für Heizung, ca. 14 Jahre
L. Brandt, Extertal	Exter	4,50	200+400	5,6+11,2	6.5.84	78000	4643	80 000	Wesertal	ca.4000 DM/a	Zwei Turbinen
Jungkamp, Stadtlohn	Berkel	3,00	1200	40,0	1.4.85	55000	1375	230 000 (erwartet)	VEW	23000 DM/a	War noch in Betrieb, nur Umbau
Gesamt				227,7		605778					
Durchschnitt		3,16	1039	22,8		60577	2187				

d.h. im Flachland, dar, denn "grundsätzlich bedeuten ein niederes Gefälle und eine kleine Leistung hohe spezifische Ausbaukosten."⁸⁾

Es war geplant, diese Werte anhand der reaktivierten Anlagen im Emsgebiet zu überprüfen. Dazu sind die acht Besitzer ausführlich angeschrieben worden. Leider trafen jedoch nur zwei Rückmeldungen ein, von denen nur eine aussagekräftig war. Anlage Nr. 29 mit einer selbst gebauten Turbine muß dagegen nach den Auskünften des Besitzers mehr als Hobby betrachtet werden. Für rd. 3 kW Leistung sind inzwischen gut 20 000 DM investiert worden, ohne daß bislang eine kontinuierliche und befriedigende Energieproduktion möglich war. Die bereits erwähnte Anlage Nr. 13 am Furlbach nahe bei Hövelhof (vgl. Bild 7) hat 20 000 DM an Investitionskosten verursacht, wovon 15 000 DM auf die elektrische Anlage einschließlich Netzparallelschaltung zum EVU (Pesag) und nur 5000 DM auf die Überholung der vorhandenen Turbine und den Asynchrongenerator entfielen. Bei 6 kW Leistung sind das 3333 DM/kW bei dieser sehr einfach konstruierten Anlage. Für die Anlage Nr. 115 werden bis zur Inbetriebnahme 86 000 DM bei 13 kW (= 6615 DM/kW) erwartet. Für das Emskraftwerk in Warendorf liegt ein Angebot von 600 000 DM für eine komplette Turbinenanlage mit 500 kW (= 1200 DM/kW) vor. Dies zeigt die weite Spanne und die Abhängigkeit von den individuellen Verhältnissen, bestätigt aber auch die angegebenen Richtwerte. Sie mögen vielleicht als hoch erscheinen, werden aber schnell relativiert durch einen Vergleich mit den Kosten von Atomkraftwerken z.B., die in der Öffentlichkeit von den EVU als besonders kostengünstige Energieerzeugungsanlagen dargestellt werden. Bei den inzwischen mindestens anzunehmenden 4,5 Mrd. DM für ein 1200-MW-Kraftwerk bedeutet das 3750 DM/kW.⁹⁾ Hinzu müßten realistischerweise die Kosten für Abriß, Wiederaufarbeitung, Endlagerung etc. gerechnet werden. Kleinwasserkraftwerke, die keinerlei Brennstoffkosten haben, können diesen Vergleich also durchaus bestehen, vor allem wenn man dann noch die sehr geringen Betriebskosten und die wesentlich längere Betriebsdauer bei gelegentlicher Turbinenüberholung (Richtwert \pm 20 Jahre)¹⁰⁾ in Betracht zieht.

Das würde allerdings voraussetzen, daß die Kleinwasserkraftwerke auch entsprechende Erlöse erzielen könnten. Seit 1979 eine Vereinbarung der Vereinigung Deutscher Elektrizitäts-Werke (VDEW) mit der Vereinigung Industrielle Kraftwirtschaft (VIK) und dem Bund Deutscher Industrie (BDI) den Weg für eine Netzeinspeisung Dritter ebnete,¹¹⁾ kann zwar der Anschluß ans Netz nicht generell verwehrt werden, aber Verkaufs- und Einkaufspreise für Strom sowie technische Auflagen können das Projekt wirtschaftlich immer noch scheitern lassen. Tabelle 8 zeigt eine Aufstellung über die Preise, zu denen die EVU im hiesigen Raum den Wasserkraftstrom ankaufen, sowie die Tarife, die Kleinwasserkraftwerksbesitzer in Mangelzeiten für zugekauften Strom zahlen müssen. Über die von VDEW/VIK ausgehandelten Mindestsätze hinaus wird der große Spielraum deutlich, den die EVU ausnutzen. Allen Bekenntnissen des Umweltbewußtseins zum Trotz können sie durch entsprechende Tarifregelungen umweltfreundlichen Wasserkraftstrom mindestens stark behindern. Nach Verhandlungen der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe mit dem RWE konnten unlängst jedoch günstigere Bedingungen erreicht werden.

Eine zweite Behinderungsmöglichkeit ergibt sich bei den technischen Auflagen für die Schaltung zur Netzparallelfahrt (vgl. Bild 10), der Möglichkeit also, durch den Anschluß an das Netz sowohl Strom zu liefern als auch zu beziehen. Vor allem bei sehr kleinen Anlagen kann dies zum entscheidenden Kostenfaktor werden, denn gewisse Mindestanforderungen müssen erfüllt werden, wobei es aber nach den Erfahrungen der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe¹²⁾ auch zu übertriebenen Forderungen kommen kann. So differieren z.B. die Kosten für die gesamte elektrische Anlage bei von der Leistung her vergleichbaren Kleinwasserkraftwerken je nach deren Lage im Zuständigkeitsbereich eines regionalen oder überregionalen EVU in Westfalen zwischen etwa 4500 DM (regionales EVU) und 18 000 DM (überregionales EVU).¹³⁾ Neben der Schaltung machen die Kosten für die Turbine, den Wasserbau (Wehr etc.) und das Gebäude i.d.R. die größten Posten aus. Für Anlage Nr. 115 liegt z.B. eine Aufschlüsselung vor:
 Turbinenüberholung 20 000 DM, Automatische Rechenreinigung

Tabelle 8 Verkaufs- und Einkaufspreise (Pf/kWh) ausgewählter Energieversorgungsunternehmen (EVU) im Bereich der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe

Energieversorgungsunternehmen (EVU)	Strom an EVU				Strom von EVU	% Aufschlag Strom von : Strom an EVU (Durschn.)	Stand
	Durchschnitt	Jahr	Sommer	Winter			
Vereinbarung VDEW/VIK*			HT: 3,99 NT: 3,26	HT: 6,68 HT: 4,59			bis 4/1985
VEW**	W: 6,9 S: 4,8		HT: 5,09 NT: 4,41	HT: 7,57 NT: 5,66	51,0	W: ca. 639 % S: ca. 962 %	
RWE***	W: 10,8 S: 8,7		HT: 8,76 NT: 8,25	HT: 11,50 NT: 9,55	22,4	W: ca. 107 % S: ca. 158 %	9.8.1985
Wesertal	ca. 8,00	HT: 9,12 NT: 5,84			17,8	ca. 122 %	1.2.1984
Lister-Lennekraft	W: 7,2 S: 5,1		HT: 5,34 NT: 4,63	HT: 7,95 NT: 5,93	18,4	W: ca. 155 % S: ca. 261 %	
EMR	ca. 8,1	HT: 8,90 NT: 6,60			19,2	ca. 137 %	1.7.1984
Pesag	ca. 6,9	HT: 8,37 NT: 4,19			17,9	ca. 159 %	1.1.1983
Elektromark	W: 6,0 S: 3,7		HT: 4,00 NT: 3,30	HT: 6,70 NT: 4,60	17,9	W: ca. 198 % S: ca. 384 %	14.9.1984

* Vereinbarung zwischen VDEW und VIK (ohne Ausgleichsabgabe und Mehrwertsteuer), gültig von Okt. 84 bis Apr. 85

**Gilt ab Lieferung von 30 000 kWh/Jahr, Grundlage Vertrag mit Hubert Schlepphorst, Salzkotten-Verne

***Gleitende Tarife mit vielen Sonderregelungen, Beispiel gilt für eine 50 000 kWh im Durchschnitt produzierende Anlage, wobei die Hälfte selbst verbraucht wird.

S = Sommer; W = Winter; NT = Niedertarif; HT = Hochtarif

Quelle: Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe 1984

(geändert und ergänzt)

25 000 DM, Schaltanlage 18 000 DM, Generator 8 000 DM und Sonstiges 15 000 DM; in Summa also 86 000 DM.¹⁴⁾

Die Turbinenpreise sind von den Herstellern auf Anfrage nicht genannt worden, da sie zu sehr von den örtlichen Gegebenheiten abhängen. In der Regel wird die Überholung auch einer stillgelegten, angerosteten Turbine kostengünstiger sein als eine neue. Auch lohnt es sich, nach einer gebrauchten Turbine zu suchen. In der Hessenstudie werden bei Anlagen, die auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht worden sind, z.B. Preise von 20 000 DM für eine 10 kW- und 70 000 DM für eine 35-kW-Turbine (jeweils Ossberger-Durchströmturbinen) genannt.¹⁵⁾ Bei diesen Fallstudien zeigt sich, daß bei der Annahme eines Kalkulationszeitraumes von 20 Jahren und der Einrechnung einer weiteren Steigerung der Energiepreise u.U. auch Anlagen ohne vorhandene Turbine heute wirtschaftlich zu reaktivieren sind, wenn auch z.T. nur mit einem staatlichen Zuschuß. Dabei werden die Betriebskosten mit lediglich 1-2 % der Investitionssumme jährlich angesetzt, weil die Besitzer die Wartung bei weitgehender Automatisierung selbst übernehmen können und Personalkosten somit entfallen.¹⁶⁾

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Anlagen überschreiten jedoch nur sehr geringfügig und auf lange Sicht, teilweise auch nur durch Einrechnung erheblicher Eigenleistung, die Wirtschaftlichkeitsschwelle. Für Neubauten bedeutet dies, daß sie z.Zt. praktisch nur im Zusammenhang etwa mit dem Bau von Regenrückhaltebecken in Betracht kommen. So plant z.B. der Besitzer des Kleinwasserkraftwerkes Schlepphorst (Salzkotten) eine Neuanlage an einem Staubecken der Lippe bei Benninghausen. Er rechnet mit 1,4 Mio DM Investitionssumme für eine Leistung von 260 kW (= 5385 DM/kW) und erwartet eine Stromerzeugung von jährlich ca. 1,2 Mio. kWh.¹⁷⁾ Ohne hier im einzelnen Rentabilitätsberechnungen anstellen zu können,¹⁸⁾ zeigt sich also: Schon heute ist die Reaktivierung vieler reaktiv gut erhaltener Mühlen wirtschaftlich und bei besseren Tarifbedingungen, angemessenen Forderungen bezüglich des technischen Aufwands sowie einem staatlichen Zuschuß zu den Investitionskosten werden auch die

Reaktivierung stärker verfallener, kleinerer und im Flachland gelegener Anlagen sowie Neubauten unter bestimmten Bedingungen rentabel.

3.1.2 Volkswirtschaftliche Auswirkungen einer verstärkten Kleinwasserkraftnutzung

So groß die Skepsis in Fragen der betriebswirtschaftlichen Rentabilität mancher Kleinwasserkraftwerke ist, so unbestritten sind die volkswirtschaftlich positiven Auswirkungen der Kleinwasserkraftnutzung. Daraus und aus der Notwendigkeit, die hohen Anfangsinvestitionen abzufangen, begründet sich die Forderung, Reaktivierung und Neubau von Kleinwasserkraftwerken staatlicherseits zu fördern. Mit verhältnismäßig geringen Mitteln könnten folgende Vorteile erworben werden:

- Der Großteil einer Wasserkraftanlage kann von Betrieben am Ort gebaut und repariert werden. Investitionen hier dienen also direkt der regionalen Strukturförderung.¹⁹⁾
- Die Investitionen können zur Schaffung von Arbeitsplätzen führen. Gerechnet wird mit einem Jahresarbeitsplatz pro 7-10 kW im Anlagenausbau.²⁰⁾ Die Fallstudie Werra-Meißner-Kreis im Rahmen der Hessenstudie errechnet damit 40 Jahresarbeitsplätze allein für den Ausbau der Kleinanlagen.²¹⁾ KAPS nennt 4700 Mann-Jahre bei Reaktivierung und Ausbau der Kleinwasserkraft von heute ca. 70 auf 540 MW in Nordrhein-Westfalen, ohne die Auswirkungen auf die vorgelagerten Wirtschaftsbereiche einzubeziehen.²²⁾
- Ein verstärkter Ausbau von Kleinwasserkraft sichert Produktions- und Entwicklungskapazitäten im Turbinenbau und damit die Konkurrenzfähigkeit beim Export dieser Anlagen. Der Bedarf der Dritten Welt an Kleinwasserkraftwerken ist enorm.
- Kleinwasserkraftwerke im Besitz von Landwirten bieten diesen die Möglichkeit, ihre Betriebskosten zu verringern oder sich eine neue Einnahmequelle zu erschließen, wodurch sie unabhängiger werden von dem Druck, immer mehr produzieren zu müssen, um ihr Auskommen zu haben.
- Wasserkraftnutzung kann mit Hochwasserschutz kombiniert werden.
- Die nach Flußausbauten notwendige Haltung des Grundwasser-

standes durch teure, nur Folgekosten verursachende Kulturstauung kann durch ein Kleinwasserkraftwerk ebenfalls, aber gewinnbringend erreicht werden.

- Von umfangreicher positiver Wirkung auf die Umwelt sind die Reinigung der Gewässer von grobem Schmutz durch den Rechen, die Verbesserung der Selbstreinigungskraft durch Sauerstoffeintrag, die Schaffung von Feuchtbiotopen etc. (vgl. Abschnitt 3.2).
- Stromerzeugung aus Wasserkraft entlastet Kohle-, Öl- oder Atomkraftwerke und verringert deren Emissionen. Für die in Nordrhein-Westfalen für möglich erachteten 540 MW ermittelte KAPS eine Schadstoffreduzierung von 7795 t pro Jahr.²³⁾
- Teilweise ersparen die Kleinwasserkraftwerke die Einfuhr von Öl und Gas. Sie tragen somit zur Verbesserung der Leistungsbilanz und zur Versorgungssicherheit bei.
- Die Versorgungssicherheit wird zudem durch die Streuung der Energieproduktion auf viele Anlagen erhöht, bei denen der Ausfall eines Werkes kaum eine Rolle spielt im Gegensatz zur Stilllegung eines Großkraftwerks, für das erhebliche Reserven bereitgehalten werden müssen.
- In abgelegenen Gebieten können Kleinwasserkraftwerke die Spannungshaltung im Netz verbessern.²⁴⁾
- Bei größeren Stauteichen oder -seen können Erholungsanlagen geschaffen werden.

Diesen positiven volkswirtschaftlichen Aspekten stehen nur wenige negative gegenüber. So kann z.B. der Wasserkraftausbau auch Umwelt zerstören und dadurch Folgekosten nach sich ziehen, oder es können benachbarte Landwirte beeinträchtigt werden, wenn das angestaute Wasser ihre Felder vernäßt.

3.2 Kleinwasserkraft und Umweltschutz

Umweltfreundliche Energieerzeugung allein garantiert noch keine Umweltfreundlichkeit von Kleinwasserkraftwerken. Sie greifen in die Naturlandschaft ein und wirken auf Landschaftsbild, Abflußverhältnisse, Gewässerbiologie, Fauna und Flora.²⁵⁾ Wenn bei der Abwägung auch die positiven Aspekte überwiegen, muß doch in jedem Einzelfall auf die Umweltverträglichkeit und eine optimale

Anpassung geachtet werden. Widerstand regt sich nicht nur gegen Großkraftwerke konventioneller Bauart und große Wasserkraftwerke (z.B. Hainburg an der Donau), sondern auch -vor allem in intensiv von Wasserkraftwerken genutzten Regionen- gegen einen weiteren Ausbau der Bäche und Flüsse. Das kann u.U. dazu führen, daß ein geplantes Kleinwasserkraftwerk am Landschaftsschutz scheitert.²⁶⁾ Widerstand ist jedoch im wesentlichen bei naturbelassenen Gewässerstrecken zu erwarten, während im Untersuchungsgebiet die Kleinwasserkraft eher die Chance böte, Ausbaufehler der Vergangenheit zu korrigieren.

An der Oberen Ems sind fast alle Wasserläufe, abgesehen von einigen kurzen Strecken der Oberläufe, durch den Menschen verändert worden. Bevor die Landwirtschaft und Flußanlieger eine bessere Vorflut und Hochwasserschutz wünschten, sind zudem schon einige Gewässer für die Mühlennutzung auf die Talränder verlegt worden, um Fallhöhe zu gewinnen. Am umfangreichsten ist dies nach Auskunft von Mühlenbesitzern im Vermolder Raum auf Veranlassung der preußischen Regierung im 18. Jahrhundert (evtl. im Zusammenhang mit Meliorationsmaßnahmen?) erfolgt. Dieser künstliche Eingriff ist allerdings heute in der Landschaft nicht mehr erkennbar.

Durch den Ausbau von Wasserläufen für die Wasserkraft bzw. die Reaktivierung alter Anlagen bestünde die Möglichkeit, den Grundwasserstand auf hohem Niveau zu halten. Der Abfluß, der durch Versiegelung von Einsickerungsflächen und Drainage vielerorts sehr unregelmäßig geworden ist, könnte durch die Hintereinanderschaltung mehrerer Staubecken verstetigt werden. Wasserkraftanlagen bieten noch weitere Vorteile:

- Das Wasser wird bei der Verwirbelung durch Turbine oder Wasserrad mit Sauerstoff angereichert, was die Selbstreinigungskraft des Gewässers stärkt.
- Durch die Beseitigung des Schwemmgutes am Rechen werden die Wasserläufe gereinigt. Früher fielen dabei nur Laub und Zweige an, die kompostiert werden konnten. Heute treibt auch Müll die Bäche herunter, der deponiert werden muß.²⁷⁾

- Durch die Anlage von Stauteichen werden Feuchtbiotope erhalten bzw. neu geschaffen.

Dem können jedoch auch ökologische Nachteile gegenüberstehen, die sich allerdings durch sorgfältige Planung und technische Vorkehrungen -z.T. verbunden mit höheren Kosten- vermeiden lassen. Einer der größten Fehler der Vergangenheit war die Gesamtableitung des Wassers in einen Werkkanal (Mühlbach) und damit die Trockenlegung des eigentlichen Flußbettes.²⁸⁾ Heute werden Restwassermengen bei der Genehmigung des Staurechts vorgeschrieben, die im alten Bett abfließen müssen. Sie liegen im hiesigen Raum bei etwa 10 % des Gesamtabflusses.²⁹⁾ Neuanlagen sollten, was bei den geringen Fallhöhen i.d.R. möglich ist, direkt als Wehrkraftwerk im Wasserlauf errichtet werden, was zudem die Kosten senkt. Ist doch ein Werkkanal erforderlich, muß das Restwasser ausreichend bemessen und auf die entsprechende Gestaltung der Ableitung geachtet werden, wofür Abbildung 31 ein Beispiel gibt. Deswei-

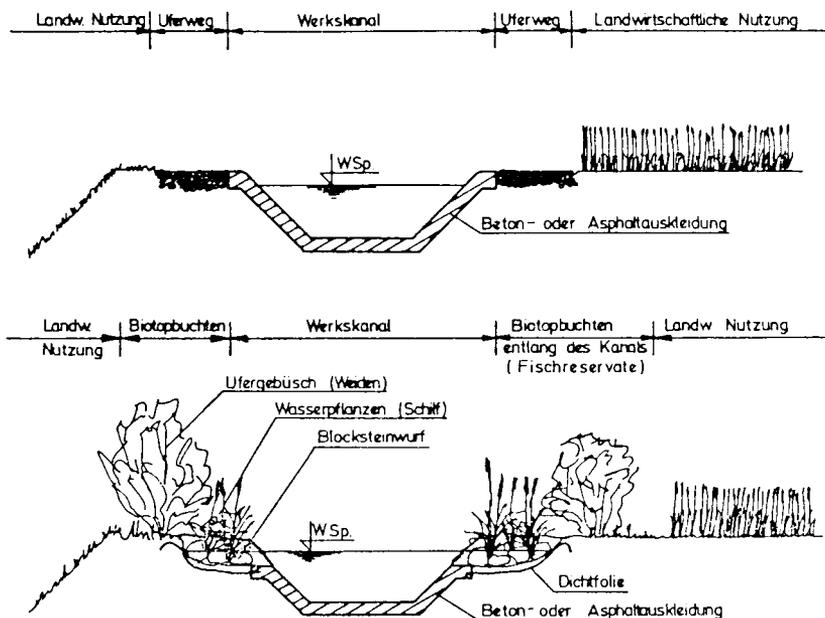


Abb. 31: Vergleich zwischen einem rein funktional und einem ökologisch gestalteten Werkkanal

teren ist früher wenig Rücksicht auf Fische und ihr Wanderverhalten genommen worden. Aus dem Untersuchungsgebiet ist dem Verfasser keine Fischtreppe bekannt, an der Ems allgemein nur am Wehr in Lingen. Ob ein Fischpaß an jeder Anlage notwendig ist und wie er kostengünstig, aber wirksam ausgeführt werden könnte, um die Investitionen nicht unnötig zu erhöhen, müßte noch eingehender untersucht werden.³⁰⁾

Eine Reihe von möglichen störenden Auswirkungen auf die Umwelt durch den Turbinen- oder Wasserradbetrieb kann durch technische Maßnahmen vermieden werden. Das Krafthaus läßt sich in der Landschaft verstecken, indem es -bei der überströmten Bauweise- in das Flußbett gelegt oder unter der Erde gebaut wird. Lärmemissionen sind durch die Wahl einer geeigneten Kraftübertragung, einer richtig konstruierten Generatorlüftung und notfalls durch Schalldämmung der Aggregate oder des Krafthauses weitestgehend zu unterbinden.³¹⁾ Bei der Größenordnung der hier betrachteten Anlagen spielt nach den bei der Besichtigung mehrerer Kleinwasserkraftwerke gewonnenen Erfahrungen Lärm praktisch jedoch keine Rolle. Schwierigkeiten ergaben sich früher allerdings daraus, daß Schmierstoffe aus den Lagern in das Gewässer gelangten, weil sie nicht dicht genug gehalten werden konnten. Angesichts der ohnehin hohen Gewässerverschmutzung heute ist dieses Problem noch dringlicher geworden. Zur Vermeidung des Öleintrags stehen eine Reihe technischer Lösungen zur Verfügung. Trotzdem muß bei der laufenden Betreuung der Anlagen hierauf besonders geachtet werden.³²⁾

Stellt man Vor- und Nachteile gegenüber, darf nicht vergessen werden, daß jede nicht durch Wasserkraft auf andere Art gewonnene Kilowattstunde unweigerlich bei der heutigen Struktur der Energieversorgung Emissionen zur Folge hat. Geht man einmal von dem durchschnittlichen Wert von 2,75 g Schadstoffen pro kWh³³⁾ bei Steinkohlekraftwerken aus, könnten im Normaljahr 44,43 t durch die Wasserkraftnutzung im Untersuchungsgebiet vermieden werden. Bei Atomkraftwerken entfallen zwar Stickoxide, Staub und Schwefeldioxid, dafür entweicht radioaktive Strahlung -wenn

auch im Normalbetrieb in geringen Mengen- und es ergeben sich andere Probleme, vor allem bei der Frage der Endlagerung der Abfälle. Darüber hinaus belasten Wärmekraftwerke wegen ihres großen Kühlbedarfs Wasserhaushalt und Gewässer.

Die Wasserkraft hilft außerdem unwiederbringliche Rohstoffe zu sparen. Es werden weder Öl, Gas oder Kohle verbraucht, und auch der Materialbedarf ist gering aufgrund der hohen Lebensdauer der Anlagen. Damit stellt sich das Verhältnis von für den Bau eingesetzter zu erzeugter Energie als besonders günstig dar, wohingegen Kritiker der Atomenergie z.B. so weit gehen zu errechnen, daß ein Atomkraftwerk mehr Energie für Bau, Betrieb, Abriß und Entsorgung verbraucht, als es während seiner relativ kurzen Arbeitszeit erzeugen kann.³⁴⁾ Bei Beachtung bestimmter Kriterien kann Wasserkraft -vor allem im Bereich der kleinen Anlagen- also als eine der umweltfreundlichsten Möglichkeiten der Energieerzeugung angesehen werden.

Ein kaum auszugleichender und trotz aller Bemühungen um erneuerbare Energien auch nicht wünschenswerter Eingriff in die Umwelt wäre jedoch der vollständige Ausbau aller Flüsse und Bäche, wie ihn die Potentialberechnung theoretisch durchspielt. Ohne große Abstriche an der Gesamtleistung könnte jedoch auf viele Kleinstanlagen verzichtet werden und die Umweltbelastung durch die Konzentration auf Kleinwasserkraftwerke mit z.B. mehr als 10 kW Leistung minimiert werden. In dieser Größenordnung bestehen auch noch nicht die Gefahren, die sich bei großen Wasserkraftprojekten gezeigt haben und die deshalb bekämpft werden. So wird z.B. durch das geplante Kraftwerk Hainburg die Zerstörung einer der letzten naturbelassenen Aulandschaften Europas an der Donau befürchtet und von Umweltschützern deswegen vehement abgelehnt.

3.3 Rechtliche Voraussetzungen für den Betrieb eines Kleinwasserkraftwerks

Bau und Betrieb von Wassermühlen sind schon seit Jahrhunderten nicht möglich ohne Genehmigungen. Früher stand den Landesherren

die Entscheidung zu, wer wo die Wasserkraft nutzen durfte. Überwiegend hielten sie die Besitzrechte und verpachteten die Mühlen. Erst 1810 wurde der "Mühlenzwang" aufgehoben, so daß jeder auf seinem Grundstück eine Mühle bauen konnte, wenn nicht betroffene Anlieger oder die Landespolizeibehörde Einspruch erhoben.³⁶⁾

Weitere Regelungen traf die preußische Regierung ein Jahrhundert später. Im Wassergesetz von 1912 forderte § 182, alle Staurechte in einem Wasserbuch einzutragen. Dazu reichte der glaubhafte Nachweis, daß das Recht bereits seit zehn Jahren ausgeübt wurde. Eine Löschung war möglich bei gegensätzlichen Interessen des Wasserstraßenbaus oder der Landeskultur, d.h. der Landwirtschaft. Ansonsten wurden die Rechte zu 90 % unbefristet übernommen.³⁷⁾

Daß das nicht immer reibungslos ablief, bezeugen die Staurechtsakten der Unteren Wasserbehörden, in denen die vor Gericht ausgetragenen Streitigkeiten um Wasseranteile und Stauhöhen gesammelt sind. Diese Punkte werden heute, wie vom Wasserhaushaltsgesetz gefordert, zuvor in einem Genehmigungsverfahren geklärt, für das vollständige Planungsunterlagen vorgelegt werden müssen. Das Wasserhaushaltsgesetz als Rahmen und die es ausfüllenden Landeswassergesetze bilden die Grundlage für die Bewilligung eines Staurechts, das heute nur noch mit dem Vorbehalt des Widerrufs erteilt wird. Zuständig sind dabei, je nach Größenordnung des Gewässers, die Unteren Wasserbehörden bei den Kreisen oder der Regierungspräsident (Obere Wasserbehörde). Im Untersuchungsgebiet wird mit Ausnahme des abflußstärkeren Emsteils bei den Kreisverwaltungen entschieden.

Wie erwähnt verfügen 68 der 152 Anlagen über Staurechte, die aber nicht immer ohne ein weiteres Verfahren eine Reaktivierung gestatten. So können nach dem Wasserhaushaltsgesetz erteilte Rechte durch vier Merkmale, die in § 15 festgelegt sind, gelöscht werden: Wenn die Nutzung seit drei Jahren ruht (Anlage Nr. 48 ist instandgesetzt worden und wird zeitweise zum Schrotten betrieben, um das Staurecht aufrechtzuerhalten.); wenn die Benutzung im zulässigen Umfang nicht mehr erforderlich ist oder eine Nutzungsänderung erfolgt ist (Im Extremfall wird darunter schon eine Nutzung des erzeugten Stroms zum Heizen statt zum

Mahlen verstanden.) bzw. der Rahmen des alten Rechts überschritten oder erteilte Auflagen nicht erfüllt sind.³⁸⁾

In der Praxis sind es vorwiegend seit Jahrzehnten ungenutzte Anlagen, deren Rechte gelöscht werden. Es ist allerdings durchaus möglich, für ein gelöschttes Recht oder eine Neuanlage ein neues Staurecht bewilligt zu bekommen. Da jede Gewässernutzung einen Eingriff darstellt und Anlieger betroffen sein können, ist dafür ein Genehmigungsverfahren notwendig, in dem die Interessen abgewogen werden. U.a. ist dabei zu prüfen, ob die Wasserqualität beeinträchtigt wird oder die Stauanlage den Abflußquerschnitt so verengt, daß ein schadloses Abführen von Hochwasser nicht mehr gewährleistet wäre.

4. ZUSAMMENFASSENDE BETRACHTUNG UND ÜBERLEGUNGEN ZUR INTENSIVIERUNG DER KLEINWASSERKRAFTNUTZUNG

Gemessen an ihrer Jahrtausende alten Geschichte ist die Kleinwasserkraft nur für einen kurzen Augenblick in den Hintergrund getreten. Diese wenigen Jahrzehnte haben allerdings ausgereicht, Jahrhunderte an Aufbauarbeit zu zerstören und die Bedingungen für eine Reaktivierung alter Wassermühlen extrem zu erschweren oder unmöglich zu machen - nicht nur dadurch, daß die technischen Apparaturen verfielen, sondern auch durch die Umwandlung der Landschaft, die sich nach den Erfordernissen einer intensiven maschinellen Agrarproduktion ausrichtete, was i. d. R. einen Gegensatz zur Kleinwasserkraftnutzung bedeutete. Unabhängig davon erschweren zudem die wirtschaftlichen Regeln, nach denen jede Investition in kürzester Zeit maximalen Gewinn erbringen muß und nur der großtechnische Maßstab Fortschritt und Wirtschaftlichkeit garantiert, den Einsatz von Kleinwasserkraftwerken. Davon ist allerdings nicht nur die Wasserkraft betroffen, sondern jede erneuerbare Energiequelle. Als Vorteile gegenüber der Windkraft oder den Solarzellen kann die Wasserkraft jedoch verbuchen, daß sie auf seit Jahrzehnten bewährte, sehr langlebige Technik zurückgreifen kann und die Akzeptanz im allgemeinen größer ist.

Wie gezeigt wurde, ist ein Aufleben der Kleinwasserkraftnutzung selbst unter den ungünstigen Relief- und Abflußbedingungen eines Flachlandflusses wie der Ems möglich. Es mangelt auch nicht an dem Willen der Besitzer: Anläßlich der zweiten Bereisung, bei der nur wenige Mühlen angefahren wurden, erklärten zwei Besitzer gegenüber dem Verf. ihr Interesse an einer Reaktivierung ihrer Anlagen, und die Turbine einer weiteren Mühle war bereits wieder freigelegt worden. Im Juni 1985 wußte der Energieberater der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe von ca. 100 Kleinwasserkraftwerkbesitzern, die nur auf die Förderung durch das Land warten, um ihre Anlagen wieder instanzzusetzen und Energie erzeugen zu lassen. Neben der finanziellen Unterstützung sind jedoch weitere Voraussetzungen zu schaffen. Für fast jeden denkbaren Lebensbereich werden heute statistische Zahlen erhoben.

Bei den Kleinwasserkraftwerken aber ist i.d.R. weder ihre frühere Zahl noch die der heute betriebenen Anlagen bekannt.

Eine Aufstellung läßt sich nicht aus Karten gewinnen, sondern einzig und allein durch ein systematisches Absuchen der betreffenden Flußläufe vor Ort. Dies wäre ein erster, wichtiger Schritt - nicht so sehr, um einen Überblick zu gewinnen, sondern um vor allem die von einer Stilllegung bedrohten Anlagen und die für eine Reaktivierung am geeignetsten erscheinenden Kleinwasserkraftwerke rechtzeitig zu finden.

Natürlich ist es sinnvoller, mit noch relativ gut erhaltenen Anlagen zu beginnen, hier Erfahrungen zu sammeln und mit konkreten, gelungenen Beispielen die Besitzer der noch an der Grenze der Wirtschaftlichkeit befindlichen Kleinwasserkraftwerke in einem zweiten Schritt von einer Reaktivierung zu überzeugen. Die Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe hat mit dieser Aufgabe bereits begonnen. Sie plant auch die Einrichtung einer Beratungsgruppe, die sich intensiv mit dem Ausbau der Kleinwasserkraft befassen soll. Hilfe bei der Untersuchung und Beratung kann die Zusammenarbeit mit dem Westfälischen Amt für Denkmalpflege und mit einem im Bau von Kleinwasserkraftwerken erfahrenen Ingenieurbüro (in Rinkerode) bieten. Das Amt für Denkmalpflege ist an der Erhaltung der alten Mühlen interessiert und kann bei entsprechenden Bedingungen mit Zuschüssen eine Reaktivierung erleichtern; das Ingenieurbüro arbeitet eine Liste aus, die eine einfache, überschlägige Berechnung der notwendigen Investitionen vor Ort ermöglicht. Zudem wollen sich auch die Biotopschützer der Landwirtschaftskammer im Einzelfall beteiligen. Gleichzeitig müssen aber vier Hürden überwunden werden:

1. Wegen hoher **I n v e s t i t i o n e n** und zu geringer Rückflüsse sind Reaktivierung oder Neubau zur Zeit auch unter wohlwollenden Annahmen vielfach nicht wirtschaftlich möglich.

Man könnte zwar einen weiteren Anstieg der Energiepreise abwarten, doch besteht die Gefahr, daß die Anlagen währenddessen auch weiter verfallen und es lange dauert, ehe sie in die Amortisationszone rücken würden. Das Problem der Wasserkraft

sind -bei relativ geringen Betriebskosten- die hohen Anfangsinvestitionen. Hier könnte der Staat mit Zuschüssen oder günstigen Krediten die volkswirtschaftlich wünschenswerte Reaktivierung oder den Neubau von Kleinwasserkraftwerken fördern.

2. Die **E n e r g i e v e r s o r g u n g s u n t e r n e h m e n** zahlen nicht nur relativ wenig für gelieferten Strom, sie erschweren auch teilweise die Netz-Parallelschaltung durch übertriebene technische Auflagen bzw. lehnen aus technischen Gründen einen Liefervertrag ganz ab.

Auch die EVU könnten erheblich zu einem Wasserkraftausbau beitragen, indem sie ihre Tarife günstiger gestalten. Beim Ankauf des Überschußstroms sollte der tatsächliche Wert -gemeint ist damit auch der volkswirtschaftliche Nutzen durch die umweltfreundliche Energienutzung- berücksichtigt werden. Freiwillig werden die EVU nach den Erfahrungen der Vergangenheit jedoch kaum dazu bereit sein, so daß hier der Gesetzgeber gefordert ist. Es muß zudem darauf hingewirkt werden, daß die EVU keine unangemessenen technischen Anforderungen stellen. Unbestritten ist ein gewisser Regelungsaufwand, um die reibungslose Zu- und Abschaltung vom Netz zu gewährleisten; wie der Vergleich mehrerer EVU zeigt, läßt sich das allerdings auch mit relativ geringem Aufwand bewerkstelligen. Als ein Schritt in die richtige Richtung erscheinen die Überlegungen der nordrhein-westfälischen Landesregierung, den EVU die Leitungsrechte zu nehmen und ihren Arbeitsbereich auf die Erzeugung zu beschränken.¹⁾ Erzeugter Strom könnte dann unter weitgehend gleichen Bedingungen in marktwirtschaftlicher Konkurrenz angeboten werden, und der Wasserkraftbesitzer wäre nicht mehr auf das Wohlwollen seines EVU angewiesen. Konsequenter wäre noch die Einführung einer Energierahmenplanung, wie sie in einigen regionalen Versorgungskonzepten derzeit getestet wird. Mit ihr könnten die gesellschaftlichen Interessen, wie z.B. die umfassende Abwärmenutzung, durchgesetzt werden. Sie würde eine Lücke in einer ansonsten allumfassenden Planung schließen. Dabei darf sie jedoch nicht in den naheliegenden Fehler verfallen, jedes Detail vorschreiben zu wollen und wirtschaftliche Re-

geln auszuschalten.

3. Die Vergabe von **S t a u r e c h t e n** bzw. die Anerkennung von alten Staurechten bei einer veränderten Nutzung wird von den Regierungspräsidenten und den Unteren Wasserbehörden i. d.R. eher restriktiv gehandhabt.

Es muß eine Änderung in der Haltung der Wasserbehörden erreicht werden. Nach Erfahrungen der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe gibt es hier beträchtliche Unterschiede. Während der Regierungspräsident Münster sich i.d.R. großzügig zeigt und Gebrauch von dem in den Gesetzen gelassenen Ermessensspielraum macht, neigen z.B. der Regierungspräsident Detmold und die ihm unterstellten Unteren Wasserbehörden der Kreise zu einer eher restriktiven Handhabung. So soll u.a. in einem noch schwebenden Verfahren ein Staurecht wegen Nutzungsänderung aberkannt werden, weil mit dem erzeugten Strom nicht mehr gesägt, sondern geheizt werden soll, wobei die Wasserkraftnutzung an sich unverändert bleibt.²⁾ Die Wasserbehörden müßten überzeugt oder angewiesen werden, Wasserkraft als vom Grundsatz her förderungswürdig anzusehen, wie das z.B. für die Landwirtschaft im Raumordnungsgesetz (§ 2 Abs. 1 Zif. 5 ROG) oder im Landesentwicklungsprogramm Nordrhein-Westfalens (§ 7 LEPro) angenommen wird. Bei der Abwägung aller Interessen im Genehmigungsverfahren muß die Wasserkraft das ihr aufgrund der beschriebenen Vorteile zukommende Gewicht erhalten.

4. Die **L a n d w i r t s c h a f t** ist aus agrarpolitischen Gründen bestrebt, den Ackerlandanteil zu steigern. Felder im Staubereich eines Kleinwasserkraftwerks können jedoch wegen des hohen Grundwasserstandes i.a. nur als Feuchtwiesen genutzt werden.

Ein Umdenken im Bereich der Landwirtschaft ist ohnehin notwendig; das fordert schon die generelle Situation, die von Überproduktion, Preisverfall und leeren EG-Kassen bei gleichzeitig immer deutlicher werdender Umweltbelastung durch moderne Agrarproduktion gekennzeichnet ist. Das Feuchtwiesenprogramm der nordrhein-westfälischen Landesregierung zeigt

einen Weg auf, der den Landwirten, der Umwelt und den Kleinwasserkraftwerken helfen kann. Wenn die zu erhaltenden und anzupachtenden oder -kaufenden Wiesen z.T. in Staubereichen gewählt würden, ergäbe sich eine sinnvolle Kombination. Evtl. könnte bei entsprechender Größenordnung des Kleinwasserkraftwerks (und damit entsprechendem Gewinn) der Besitzer einen Teil der Kosten übernehmen und damit Mittel für eine Ausdehnung des Programms freihalten.³⁾ Die Landwirtschaft hat vor allem auch durch ihre Anforderungen an die Flurbereinigung schädliche Auswirkungen auf die Wasserkraftnutzung gehabt. Fast das ganze Untersuchungsgebiet ist davon betroffen, wobei die Verfahren heute weitgehend abgeschlossen sind. Sie ist eine der Hauptursachen dafür, daß etliche Anlagen kaum noch zu reaktivieren sein werden. Technisch gesehen wäre der Rückbau möglich, dies darf aber für die nahe Zukunft wegen der hohen Kosten und der zu erwartenden Widerstände in der Landwirtschaft wohl ausgeschlossen werden. Im Einzelfall erscheint jedoch eine Ableitung des Wassers über die alte Mühle noch durchführbar. Der **F l u r b e r e i n i g u n g** muß der Vorwurf gemacht werden, daß sie, auf eine stereotype Forderung in den landwirtschaftlichen Fachbeiträgen⁴⁾ reagierend, vor allem eine bessere Vorflut, d.h. eine schnellere und umfassendere Ableitung des Wassers angestrebt hat.⁵⁾ Vielerorts übernehmen somit Kulturstau die Aufgabe der Mühlen, das Grundwasser nicht absinken zu lassen. Bei zukünftigen Gewässer- ausbauten sollte auf eine Kombination mit einem Kleinwasserkraftwerk hingewirkt werden. Bevor neue Feuchtbio- tope künstlich geschaffen werden, sollten die Staubereiche erhalten bleiben.

Die vorgenannten Problemfelder betreffen gleichermaßen zu reaktivierende wie auch neu zu bauende Anlagen. Neue Kleinwasserkraftwerke erscheinen, so wünschenswert sie von der umweltfreundlichen Energieerzeugung her auch sind, unter den derzeitigen Bedingungen im Flachland unrealistisch wegen der großen Investitionen. Steigende Energiepreise und Zuschüsse ließen sie auf Dauer aber rentabel werden. Im Einzelfall können sie z.B.

in Verbindung mit Regenrückhaltebecken schon heute wirtschaftlich arbeiten. Bei entsprechenden Gewässerausbauten sollte deshalb immer die Möglichkeit einer Wasserkraftnutzung mitbedacht werden.

Eine Strategie, die eine intensivere Kleinwasserkraftnutzung zum Ziel hat, muß folglich zwei Wege gleichzeitig beschreiten:

- 1) Alle vorhandenen Anlagen und potentiellen neuen Standorte müssen erfaßt und auf ihre Eignung untersucht werden. Auf mögliche Neubauten in Kombination mit anderen wasserbaulichen Maßnahmen (Regenrückhaltebecken, Kulturstau) ist dabei besonders zu achten, um keine Chancen zu verpassen.
- 2) Die Hürden, die die beschriebenen Problemfelder aufbauen, müssen weitestgehend aus dem Weg geräumt werden.

Beide Wege sollten möglichst umgehend beschrritten werden, denn der Verfall der Altanlagen geht weiter und verschlechtert beständig ihre Reaktivierungsaussichten. Auch lassen sich jetzt noch mit geringem Aufwand von der Stilllegung bedrohte Kleinwasserkraftwerke so umwandeln oder ausbauen, daß ihr Bestand auf Dauer gesichert werden kann.

ANMERKUNGEN

Zu Kapitel 1:

- 1) BISCHOFF/GOCHT 1979, S. 1
- 2) BACH 1982, S. 192, der dies am Beispiel USA zeigt
- 3) BACH 1982, S. 190ff.
- 4) MEYERS/SCHIPPER 1984, S. 495
- 5) TEUFEL/RUSKE 1980, S. 16
- 6) Brennstoff-Wärme-Kraft (BWK) Nr. 12, 1984, S. 489
- 7) TEUFEL/RUSKE 1980, S. 156ff; das damit verfolgte Ziel einer flächendeckenden Versorgung mit Elektrizität ist längst erreicht. Vgl. ECKARDT/MEINERZHAGEN/JOCHIMSEN 1985; zu Reformbemühungen: SCHWARZ 1984, S. 91ff.
- 8) Generell muß unterschieden werden zwischen der "Energiedienstleistung" als gewünschtem Ergebnis des Energieeinsatzes, dem "Energiebedarf", der dazu notwendig ist, und dem "Primärenergieverbrauch", d.i. die gesamte dafür eingesetzte Energiemenge einschl. der Umwandlungsverluste. Je höher der Wirkungsgrad bei der Umwandlung ist, desto geringer ist die Diskrepanz zwischen Primärenergieverbrauch und Energiebedarf
- 9) SCHNUG 1985, S. 151ff; VOSS 1981, S. 126; LOVINS et al. 1983, S. 83
- 10) LOVINS et al. 1983, S. 25
- 11) Zu den Möglichkeiten und Vorteilen einer effektiven Energienutzung siehe LOVINS et al. 1983
- 12) SCHUSTER 1982, S. 58
- 13) Der Spiegel Nr. 23, 1983, S. 72 und Nr. 13, 1984, S. 67ff; für weitere Beispiele und zur Wirtschaftlichkeit generell: FRANKE/VIEFHUES 1983
- 14) WINTER/NITSCH/KLAISS 1983, S. 243f.
- 15) 1 TW = 1 Terawattjahr/Jahr = 1 Mrd. Kilowattjahre/Jahr
- 16) HÄFELE/NAKICENOVIC/ROGNER 1981, S. 203
- 17) SORENSEN 1981, S. 297ff.
- 18) LOVINS et al. 1983, S. 49
- 19) HOLDREN 1981, S. 913
- 20) HÄFELE/NAKICENOVIC/ROGNER 1981, S. 205
- 21) WEINBERG 1979, S. 946
- 22) WINTER/NITSCH/KLAISS 1983, S. 247
- 23) Biblio aktuell Nr. 1, 1980, S. 17
- 24) TEUFEL/RUSKE 1980, S. 71
- 25) WITTCHOW 1985, S. 25
- 26) WITTCHOW 1985, S. 24
- 27) SCHREIBER 1985, S. 21 ff.
- 28) MELISS 1984, S. 135
- 29) WINTER/NITSCH/KLAISS 1983, S. 252
- 30) BACH 1982, S. 59f.
- 31) Wasserwirtschaft Heft 5, 1984, S. 293
- 32) Vgl. z.B. CHORLEY 1971, S. 154; LOEPFE 1984, S. 15
- 33) KÖNIG 1983, S. 57f.
- 34) Im Untersuchungsgebiet gehörte die Mühle Nr. 58 an der Lutter zum Kloster dieses Ordens in Marienfeld
- 35) CHORLEY 1971, S. 153; REYNOLDS 1984, S. 130, gibt 5246 an
- 36) REYNOLDS 1984, S. 131ff.

- 37) SMITH 1980, S. 86f; Wasser und Boden Heft 1, 1984, S. 36f.
- 38) Deutscher Wasserwirtschafts- und Wasserverband 1930
- 39) HERB 1983, S. 68
- 40) Wasserwirtschaft Heft 5, 1984, S. 293
- 41) MÜLLER 1983, S. 20
- 42) KÖNIG 1983, S. 58f.
- 43) Wasserwirtschaft Heft 9, 1981, S. 268, und Wasserwirtschaft Heft 5, S. 293. Speicherkraftwerke werden nicht in das Potential eingerechnet, da ihre Abfluß- und Gefällebedingungen künstlich geschaffen worden sind
- 44) Dies ist auch bei den 20 noch oder in Kürze wieder betriebenen KWK im Untersuchungsgebiet überwiegend der Fall.
- 45) HELFER 1949, S. 124
- 46) CHORLEY 1971, S. 154f.
- 47) Wasserwirtschaft Heft 5, 1984, S. 293
- 48) MÜLLER 1983, S. 29
- 49) HAMERAK 1981a, S. 11
- 50) Wasser und Boden Heft 9, 1981
- 51) GOLDEMBERG 1979, S. 736ff.
- 52) JEFFS 1979, S. 841
- 53) Zu den Vorteilen der Kleinwasserkraft-Technologie für Entwicklungsländer: HERB 1982
- 54) XUEMIN 1985, S. 141ff.

Zu Kapitel 2:

- 1) Landesanstalt für Gewässerkunde 1914
- 2) MÜLLER-WILLE 1966, S. 151
- 3) MÜLLER-WILLE 1952, S. 38
- 4) MÜLLER-WILLE 1966, S. 152ff; HEMPEL 1984, S. 11; POELMANN 1953, S. 90ff.
- 5) MÜLLER-WILLE 1966, S. 183f; GEOGRAPHISCHE KOMMISSION FÜR WESTFALEN 1969, S. 7f.
- 6) SCHLEGEL 1981, S. 8
- 7) GEOGRAPHISCHE KOMMISSION FÜR WESTFALEN 1969, S. 10
- 8) DAHMEN 1942, S. 145
- 9) Siehe u.a. Tab. III in MAASJOST 1932, S. 46; RÜSEWALD/SCHÄFER 1937, S. 16; vgl. Klimaatlas von NRW 1960, Blatt 51f.
- 10) DAHMEN 1942, S. 142ff.
- 11) BECKS 1980, S. 36
- 12) BECKS 1980, S. 35; DAHMEN 1942, S. 147ff.
- 13) BURRICHTER 1983, S. 29ff.
- 14) MAASJOST 1932, S. 50
- 15) MÜLLER-WILLE 1966, S. 220
- 16) SCHREPFER 1972, S. 248
- 17) BECKS 1980, S. 207ff.
- 18) Addiert über die einzelnen Gemeinden bzw. geschätzten Teile davon, Stand 31.12.1979; entnommen aus Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik 1980, S. 30ff.
- 19) MÜLLER-WILLE 1952, S. 158ff.
- 20) DÜSTERLOH/SCHÜTTLER 1983, S. 291; FUCHS 1983, S. 297ff.
- 21) KELLER 1901, S. 107ff; KELLER, R. 1979, S. 40ff; MAASJOST 1932, S. 25ff, beschreibt ausführlich die Quellregion
- 22) SOMMER 1956, S. 106ff.
- 23) MAASJOST 1932, S. 25f.

- 24) Mündliche Auskunft von Herrn Rosenhagen, Gewässerkunde Senne, Sennestadt
- 25) KELLER 1901, S. 113
- 26) KELLER 1901, S. 112f.
- 27) MEISEL 1959, S. 803
- 28) KELLER, R. 1979, S. 341
- 29) KELLER 1901, S. 151ff.
- 30) SOMMER 1956, S. 111
- 31) Wasserwirtschaftsstelle f. d. Emsgebiet o.J., S. 11ff.
- 32) SOMMER 1956, S. 121ff; Wasserwirtschaftsstelle für das Emsgebiet o.J., S. 81ff; hier sind die Zustände vor dem Ausbau, die früheren Ausbaumaßnahmen und die Regulierungsplanung selbst beschrieben
- 33) In Rheine stand die letzte Anlage vor der Mündung. Sie ist seit Ende 1985 reaktiviert und liefert bei 360 kW Leistung Strom an die Stadtwerke Rheine.
- 34) Vgl. dazu SPERLING 1934
- 35) Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 1983, S. 250ff.
- 36) KELLER, R. 1979, S. 120
- 37) SPERLING 1949, S. 31
- 38) Hier wie auch im folgenden bezieht sich "Jahr" immer auf das Hydrologische Jahr vom 1. November bis 31. Oktober, auch bei der Potentialberechnung!
- 39) SPERLING 1949, S. 31f.
- 40) SPERLING 1955, S. 2; Erläuterung der Variablen: A = Abfluß, N = Niederschlag, V = Verdunstung, R = Rücklage und B = Verbrauch aus Rücklage.
- 41) Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 1983, S. 252
- 42) Siehe z.B. NATERMANN 1958, S. 33, mit 476,3 mm für die Periode 1921-40; SPERLING 1955, S. 9, mit 479 mm (1921-40); SCHNEIDER 1964, S. 124ff, nennt Werte von 283,5-600,8 mm, je nachdem ob Grundwasseranschluß vorhanden ist oder nicht. M. SCHROEDER (mündl. Mitt.), beim StAWA Münster zuständig für Lysimeter-Untersuchungen, hält den ersten Wert für weit unterschätzt, da neue Ergebnisse aus der Lysimeteranlage St. Arnold bei Kiefernwald wegen der hohen Interzeption auch ohne Grundwasserbindung Werte über 600 mm gezeigt haben. BAUER/WYRWICH 1981, S. 28, geben auch für die Senne als Mittelwert 582,4 mm für den Zeitraum 1956-1975 an.
- 43) BAUER/WYRWICH 1981, S. 36ff.
- 44) Allerdings sind die langfristigen Auswirkungen der Tiefentnahme (z.B. wegen Verbindungen zwischen Grundwasserstockwerken) noch nicht letztendlich geklärt (mündl. Mitt. von Herrn Rosenhagen, Gewässerkunde Senne, Sennestadt).
- 45) WILHELM 1976, S. 138. Das Bielefelder Abwasser wird allerdings zum großen Teil zur Weser hin abgeleitet.
- 46) SCHROEDER 1952, S. 57
- 47) SPERLING 1950, S. 13
- 48) SPERLING 1950, S. 17
- 49) Wasserwirtschaftsamt Münster 1961, S. 9
- 50) Wasserwirtschaftsamt Münster 1961, S. 8; SPERLING 1950, S. 7
- 51) JOPPICH 1973, S. 15
- 52) Errechnet aus Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 1983, S. 252f.
- 53) SPERLING 1949, S. 12

- 54) JOPPICH 1973, S. 48
- 55) Die Zahl setzt sich zusammen aus 152 bestehenden und ehemaligen Anlagen sowie 213 theoretisch neu errichtbaren.
- 56) Diese Karten auf der Grundlage der TK 25 werden vom Landesamt für Wasser und Abfall herausgegeben. Sie enthalten die Niederschlagsgebiete der Wasserläufe und eine Kilometrierung in 100-m-Schritten, mit der sich die Länge eines Baches bestimmen läßt.
- 57) "Gebietsbezeichnung und Flächenverzeichnis der Gewässer im Lande Nordrhein-Westfalen" wird vom Landesamt für Wasser und Abfall herausgegeben und laufend aktualisiert.
- 58) Siehe als Beispiele: WOLF/KESSELS/DUMONT 1983; MELF 1984; RADLER 1982
- 59) KRÜMMEL 1903, S. 172
- 60) Nicht zu unrecht, denn wie die Schwierigkeiten des Besitzers von Anlage Nr. 68 zeigen, ist eine Vereinbarung nicht immer möglich, weil technische Hinderungsgründe genannt werden. Dieser Besitzer überlegt, ob er Elektrokarren für den Stall anschaffen soll, um den Überschußstrom verbrauchen zu können.
- 61) Der Besitzer von Anlage Nr. 67 z.B. wurde per Gerichtsbeschluß dazu angehalten, von Freitag bis Sonntag das Wehr zu ziehen, da er nur werktags mahlt. Eine angestrebte Umstellung auf Elektrizitätserzeugung wird dadurch unwirtschaftlich. Nach Berechnungen des Verf.s hätte die Anlage im Normaljahr 1975 rd. 60 000 kWh erzeugen und damit 13 Durchschnittshaushalte versorgen können.
- 62) Die Ämter des Kreises Gütersloh sind noch in den alten Kreisstädten Halle und Rheda-Wiedenbrück untergebracht.
- 63) Seit der Erfassung im Herbst 1984 sind zwei weitere Mühlen aufgegeben worden (Nr. 36 und 67).
- 64) SCHREIBER 1985, S. 23, bezieht sich zwar nur auf Windkraft, aber gemeint ist wohl generell die Mühlenstillegung.
- 65) PS werden durch den Faktor 1,38 dividiert, um kW zu erhalten.
- 66) Die Daten sind von der VEW Münster aus dem Archiv gesucht worden. Sie waren selbst der Stadt Warendorf trotz ihrer Reaktivierungs-Überlegungen nicht bekannt - ein weiteres Beispiel für das schnelle Vergessen.
- 67) MOSONYI 1966, Bd. 1, S. 137; KEYL/HÄCKERT 1949, S. 39; LUDIN 1955, S. 25
- 68) XUEMIN 1985. S. 148
- 69) Vgl. z.B. MOSONYI 1966, Bd. 1, S. 135; WOLF/KESSELS/DUMONT 1983, S. 1
- 70) MOSONYI 1966, Bd. 1, S. 21ff.
- 71) Diese Darstellung ist notwendigerweise sehr verkürzend. Eine umfassende Ableitung der die Turbinen antreibenden Kräfte und ihre Berechnung geben KEYL/HÄCKERT 1949, S. 11ff und S. 100ff, sowie MOSONYI 1966, Bd. 1, S. 647ff.
- 72) GIESECKE et al. 1982, S. 268; zur Frage Wasserrad oder Turbine siehe MÜLLER 1939, S. 1f. und S. 134ff.
- 73) MÜLLER 1939, S. 6
- 74) MOSONYI 1966, Bd. 2, S. 892
- 75) GIESECKE et al. 1982, S. 264, führen das Beispiel eines 100 Jahre alten Rades mit 77 % Wirkungsgrad an; MOSONYI 1966, Bd. 2, S. 892

- 76) KEYL/HÄCKERT 1949, S. 213
- 77) KEYL/HÄCKERT 1949, S. 210; MOSONYI 1966, Bd. 2, S. 885
- 78) QUANTZ 1948, S. 38
- 79) Beispiele bei MÜLLER 1939
- 80) KÖSSLER 1983b, S. 2
- 81) MOSONYI 1966, Bd. 1, S. 131 f.
- 82) MOSONYI 1966, Bd. 1, S. 130 f.
- 83) HAMERAK 1981d, S. 47
- 84) In Bergländern lassen sich mit kleinen Pelton-Anlagen bei großen Gefällen Leistungen erzielen, die die der größten KWK im Untersuchungsgebiet weit übertreffen; siehe dazu KÖSSLER 1983a, S. 13
- 85) QUANTZ 1948, S. 60ff.
- 86) QUANTZ 1948, S. 69
- 87) Vgl. z.B. RAUCH 1948, S. 91ff; MOSONYI 1966, Bd. 2, S. 779ff, zum Aufbau von Francisturbinen; QUANTZ 1948, S. 60ff, zu Berechnung und Konstruktion; HAMERAK 1981b, S. 22
- 88) Ist nur der Leitapparat regelbar und stehen die Flügel fest, spricht man von Propellerturbinen.
- 89) QUANTZ 1948, S. 71
- 90) Firmenprospekte ESCHER-WYSS, VOITH; KÖSSLER 1983a, S. 7
- 91) In der Fachsprache werden sie "beaufschlagt".
- 92) HAMERAK 1981d, S. 47f.
- 93) Ausführlich über den Einsatz von Asynchrongeneratoren in KWK: KALLMANN 1984
- 94) Die Wirkungsweise der Regler kann hier nicht erklärt werden. Sie wird beschreiben und illustriert z.B. bei RAUCH 1948, S. 49ff.
- 95) HAMERAK 1981d, S. 49
- 96) MOSONYI 1966, Bd. 2, S. 930ff; RAUCH 1948, S. 128ff, mit vielen Abbildungen
- 97) Beispiele bei MOSONYI 1966, Bd. 2, S. 926ff; RADLER 1984, S. 365; Firmenprospekt DREES
- 98) Vgl. QUANTZ 1948, S. 13ff; RAUCH 1948, S. 171ff.
- 99) RADLER 1984, S. 362
- 100) KEYL/HÄCKERT 1949, S. 81f.
- 101) Beschreibung des Verfahrens: SIMON/WÜST 1983, S. 8ff.
- 102) Formel bei NACHTNEBEL 1982, S. 55
- 103) RADLER 1982, S. 6
- 104) Entsprechend ist das ausbauwürdige Potential Österreichs in zehn Jahren um 10 TWh/a gestiegen; RADLER 1982, S. 7
- 105) Mündliche Auskunft von Herrn ROSENHAGEN, Gewässerkunde Senne, Sennestadt
- 106) Der Ausbaugrad bestimmt das Schluckvermögen der Turbine. Er gibt die Zahl der Tage an, an dem dieses Schluckvermögen erreicht oder überschritten wird. 100tägiger Ausbaudurchfluß bedeutet also, daß an 265 Tagen im Jahr der maximal mögliche Turbinendurchfluß nicht erreicht wird, die Turbine folglich im Teillastbereich arbeiten muß.
- 107) MOSONYI 1966, Bd. 1, S. 95f.
- 108) KEYL/HÄCKERT 1949, S. 24
- 109) Errechnet aus den beim StAWA Münster zur Zeichnung der Abflußdauerlinie verwandten Zahlenwerten.
- 110) Eingehend dargelegt sind diese Hindernisse in HARTUNG 1966; in diesem Gutachten werden Vorschläge für größere Speicher-

becken zur Abflußregulierung im Oberen Emsgebiet unterbreitet, die aber nicht ausgeführt worden sind mit Ausnahme des Beckens Steinhorst am Oberlauf, das bei mehr als 5,5 cbm/s gefüllt wird.

- 111) Die Verdunstung von der freien Wasseroberfläche erreicht laut M. SCHROEDER (StAWA Münster) nach Messungen in der Senne (Station Sennestadt) vernachlässigbar kleine Werte. Die Ermittlung der potentiellen Verdunstung mit dem Class-A-Kessel hat im Mittel der Jahre 1977-1984 (bei Annahme eines 25-prozentigen Zuschlags für den nicht gemessenen Winter) 586,6 mm ergeben. Nimmt man für jede der 365 Anlagen einen 1 ha großen Stauteich an, werden 0,0451/s/km² (= 0,35 % des WMQ) durch sie verdunstet. Dies entspricht einem Minus von 67,82 l/s am Pegel Eimen. Für Mühlbäche werden aber bereits für alle Anlagen pauschal 10 % für den Restabfluß im alten Bachbett abgezogen.
- 112) So z.B. bei NACHTNEBEL 1982 oder MOSONYI 1966, Bd. 1, S. 85ff.
- 113) Empfohlen bei LUDIN 1955, S. 22
- 114) KÖNIG 1983, S. 58
- 115) KÖNIG 1983, S. 73, empfiehlt 6000 Betriebsstunden, was für das Obere Emsgebiet zu hoch ist. Hier sollte man vorsichtshalber wegen des geringen Sommerabflusses von maximal 4500 Vollaststunden ausgehen. Nur in Oberläufen von Bächen mit starker, gleichmäßiger Quellschüttung mag mehr erreicht werden.
- 116) KÖNIG 1983, S. 73
- 117) Dieser Wert entspricht den praktischen Erfahrungen der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe. Siehe zur Restwasser-Problematik: MICHEL 1984, S. 51ff.
- 118) Die mit Denkmalschutzmitteln restaurierte Mühle Nr. 12 am Furlbach ist nicht berücksichtigt, da sie nur zu Schauzwecken laufen soll.
- 119) In einem abgeänderten Programm sind die Jahre 1959-1963 für das Emskraftwerk Warendorf durchgerechnet worden, werden hier aber nicht aufgeführt, da daran nur die realen Wirkungsgrade getestet werden sollten.
- 120) Mündliche Auskunft durch Herrn KREIENBAUM, VEW Münster.
- 121) 1985 wurde eine zweite Turbine eingebaut, mit der die Gesamtleistung auf 35 kW stieg.
- 122) MÜLLER 1983
- 123) MELF 1984
- 124) SIMON/WÜST 1983
- 125) WOLF/KESSELS/DUMONT 1983
- 126) RADLER 1982
- 127) Seit Anfang 1987 liegt eine weitere Arbeit am Institut für Geographie in Münster vor, in der die Obere Lippe ausgewertet und vor allem auf Reaktivierungsmöglichkeiten hin analysiert wird. SCHOLZ 1986
- 128) NACHTNEBEL 1982, S. 48 und 115 ff.
- 129) MELF 1984, S. 3
- 130) LANDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE 1914
- 131) MELF 1984, S. 13f.
- 132) MELF 1984: Auf S. 2 wird von 1000 kW als "Anschlußwert für die Gesamtenergiebereitstellung von ca. 30 Einfamilienhäusern" gesprochen, wodurch leicht der Eindruck entsteht, daß

mit einer 1000-kW-Anlage auch nur diese wenigen Häuser versorgt werden können. Tatsächlich könnte in dem untersuchten Gebiet bei rd. 6500 Betriebsstunden (S. 6) ein solches KWK 6 500 000 kWh/Jahr erzeugen, womit bei einem (allerdings nur Strom-) (Durchschnittsverbrauch von 4500 kWh/Jahr 1444 Vier-Personen-Haushalte versorgt werden könnten. Allein die im Ruhr-/Lennegebiet für möglich gehaltenen 459 GWh würden also für 102 000 solcher Haushalte reichen. Eine zweite Ungenauigkeit: Auf S. 4 wird der "Gesamtenergieverbrauch" 1982 in NRW mit 130 000 GWh angegeben, tatsächlich handelt es sich um die verbrauchte Strommenge.

133) KAPS o.J. (1984), S. 4

Zu Kapitel 3:

- 1) Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen für Investitionen zur Energieeinsparung und Energiesicherung in der Landwirtschaft, Runderlaß des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten vom 16.05.1983.
- 2) WOLF/KESSELS/DUMONT 1983, S. III/61ff.
- 3) KAPS o.J., S. 5
- 4) WESTBELD 1984a, S. 5ff; mündliche Auskunft von Herrn KAPS, Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Münster, 1985
- 5) WESTBELD 1984b, S. 12f.
- 6) MELF 1984, S. 5
- 7) Vgl. KAPS o.J. (1984), S. 4; mündliche Auskunft von Herrn KAPS
- 8) LOTTES 1959, S. 8
- 9) Überschlägig ermittelt aus: FRANKE/VIEFHUES 1983, S. 35
- 10) Mündliche Auskunft von Herrn KAPS
- 11) MÜLLER 1981, S. 54
- 12) Mündliche Auskunft von Herrn KAPS
- 13) Mündliche Auskunft von Herrn KAPS
- 14) Mündliche Auskunft von Herrn KAPS
- 15) WOLF/KESSELS/DUMONT 1983, S. III/99 und III/107
- 16) WOLF/KESSELS/DUMONT 1983, S. III/113ff.
- 17) Mündliche Auskunft von Herrn KAPS
- 18) Ausführliche Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit mit Anwendungsbeispielen und Bandbreiten der Investitionskosten verschiedener Anlagenteile in Abhängigkeit von Fallhöhe und Abfluß in WOLF/KESSELS/DUMONT 1983, S. III/73ff.
- 19) MELF 1984, S. 19
- 20) WOLF/KESSELS/DUMONT 1983, S. III/93
- 21) SIMON/WÜST 1983, o.S.
- 22) KAPS o.J. (1984), S. 4ff.
- 23) KAPS o.J. (1984), S. 4
- 24) PUCHER 1984, S. 217
- 25) SCHIECHTL 1984, S. 118
- 26) OTTO 1982, S. 367
- 27) PUCHER 1979, S. 65
- 28) KÖSSLER 1980, S. 27
- 29) Mündliche Auskunft von Herrn KAPS. Ausführlich zum Konflikt maximaler Energienutzung und Restwasserproblematik: MICHEL 1984, S. 51ff.

- 30) Zum Bau von Fischwegen und ihrer Notwendigkeit: JENS 1984
- 31) KÖSSLER 1983c, S. 5ff.
- 32) Siehe dazu im einzelnen: KÖSSLER 1983c, S. 15ff.
- 33) KAPS o.J. (1984), S. 4
- 34) STROHM 1981, S. 75ff.
- 35) LIECKFELD 1984, S. 20ff; LIECKFELD 1985, S. 68ff.
- 36) BÖHM 1983, S. 24ff.
- 37) Ein Großteil dieses Abschnitts beruht auf mündlichen Auskünften von Herrn SCHOLZ und Frau RÖLKER, Obere Wasserbehörde, Regierungspräsident Münster.
- 38) CZYCHOWSKI/PRÜMM 1979, S. 18

Zu Kapitel 4:

- 1) Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr 1984, S. 53f.
- 2) Mündliche Auskunft von Herrn KAPS
- 3) Vgl. MELF 1985
- 4) Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe/Höhere Forstbehörde, Land- und forstwirtschaftliche Fachbeiträge, (im Untersuchungsgebiet:) Nr. 47, 65, 88, 136, 144, 146, 160, 161, 162, 163, 174
- 5) Wie problematisch der mit großem Kostenaufwand betriebene (hier ca. 2,4 Mio DM) Gewässerausbau manchmal gerät, zeigt deutlich der Emsausbau "auf landschaftsökologischer Grundlage" im Bereich Rietberg. Am Endpunkt, an dem die Ems nur wenige Meter neben dem alten Bett fließt und geringfügig tiefergelegt ist, ist die Flammenmühle (Nr. 20) durch reichlich Zement und Spundwände abgeschnitten worden. Auch hier war die Rentabilität der Landwirtschaft einer der Hauptgründe: neben einer Umlegung der Felder die Entwässerung von Wiesen und Feldern. Siehe ausführlich dazu: PFLUG et al. 1980.

LITERATUR

- BACH, W. (1982): Gefahr für unser Klima - Wege aus der CO₂-Bedrohung durch sinnvollen Energieeinsatz. Karlsruhe
- BAUER, H.J. u. D. WYRWICH (1981): Grundwasserreservoir Senne. In: SERAPHIM, E. Th. (Hg.): Beiträge zur Ökologie der Senne, Teil III, S. 23-49. Bielefeld (= Berichte d. Naturwiss. Vereins f. Bielefeld u. Umgebung)
- BECKS, F. (1983): Die räumliche Differenzierung der Landwirtschaft in der Westfälischen Bucht. Münster (= Spieker, Landeskundl. Beiträge u. Berichte, Bd. 29)
- BfLR (Bundesforschungsanstalt f. Landeskunde u. Raumordnung) (1984): Energie und Umwelt. Bonn-Bad Godesberg (= Informationen zur Raumentwicklung, H. 7/8)
- BISCHOFF, G. u. W. GOCHT (1979): Energietaschenbuch. Braunschweig/Wiesbaden
- BÖHM, M. (1983): Die Berkel und ihre Nutzung unter besonderer Berücksichtigung der Wassermühlen. Münster (= Staatsarbeit)
- CHORLEY, R.J. (Hg.) (1971): Geographical Hydrology. London
- CZYCHOWSKI, M. u. G. PRÜMM (1979): Wasserrecht Nordrhein-Westfalen. Köln (= Kommunale Schriften f. Nordrhein-Westfalen, 3. Aufl.)
- DAHMEN, G. (1942): Beckumer Berge. In: Westfälische Forschungen, Bd. V. Münster
- DEUTSCHER WASSERWIRTSCHAFTS- U. WASSERKRAFTVERBAND (Hg.) (1936): Water Exploitation in Germany. Berlin
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Hg.) (1960): Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen. Offenbach
- DÜSTERLOH, D. u. A. SCHÜTTLER (1983): Siedlungs- und Wirtschaftsraum Bielefeld. In: HEINEBERG, H. u. A. MAYR (Hg.): Exkursionen in Westfalen und angrenzenden Regionen. Festschr. z. 44. Deutschen Geographentag in Münster, Teil II, S. 281-293. Paderborn (= Münstersche Geogr. Arb., Bd. 16)
- ECKARDT, N., U. MEINERZHAGEN u. V. JOCHIMSEN (1985): Die Stromdiktatur. Von Hitler ermächtigt - bis heute ungebrochen. Hamburg/Zürich
- FRANKE, J. u. D. VIEFHUES (Hg.) (1983): Fiasko Atomenergie - Die Unwirtschaftlichkeit des Atomstroms. Köln
- FUCHS, G. (1983): Ravensberger Land und Senne. In: HEINEBERG, H. u. A. MAYR (Hg.): Exkursionen in Westfalen und angrenzenden Regionen. Festschr. z. 44. Deutschen Geographentag in Münster,

- Teil II, S. 295-303. Paderborn (= Münstersche Geogr. Arb., Bd. 16)
- GEOGRAPHISCHE KOMMISSION FÜR WESTFALEN (Hg.) (1969): Der Landkreis Wiedenbrück. Köln/Münster (= Die Landkreise in Westfalen, Bd. 5)
- GEOGRAPHISCHE KOMMISSION FÜR WESTFALEN (Hg.) (1985): Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen, 1. Lieferung. Münster
- GIESECKE, J., H. NEUMAYER u. J. RUPPERT (1982): Untersuchung des hydraulischen Antriebs einer Mühle. In: Wasserwirtschaft 72, H. 7/8, S. 263-268
- GOLDEMBERG, J. (1979): Global options for short-range alternative energy strategies. In: Energy, Vol. 4, S. 733-744.
- HÄFELE, W., N. NAKICENOVIC u. H.-H. ROGNER (1981): Nutzbare regenerative Energiequellen in der Welt. In: Brennstoff-Wärme-Kraft 33, Nr. 5, S. 203-207
- HAMERAK, K. (1981): Kleine Wasserkraftanlagen - Ein wertvoller Beitrag zur zukünftigen Energieversorgung unseres Landes. In: Das Wassertriebwerk, 30. Jg., a: Nr. 2, S. 10-11; b: Nr. 3, S. 19-23; c: Nr. 4, S. 28-31; d: Nr. 5, S. 47-50; e: Nr. 7/8, S. 60-62
- HAMERAK, K. (1983): Ist der Assuan-Staudamm eine Fehlplanung? In: Das Wassertriebwerk, 32. Jg., H. 2, S. 18-20
- HARTUNG, W. (1966): Teilgutachten zum wasserwirtschaftlichen Rahmenplan für das obere Emsgebiet - Rückhaltungsmöglichkeiten, Hydrologie. Braunschweig
- HELFER, H. (1949): Die wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung der Binnengewässer. In: THIENEMANN, A. (Hg.): Die Binnengewässer, Bd. XVII. Stuttgart
- HEMPEL, L. (1984): Nordwestdeutschland: Reliefformen - Reliefgenese - Reliefräume. Münster
- HERB, J. (1982): Energie aus Kleinwasserkraft - Ein sinnvoller Beitrag zur Lösung der Energieprobleme in Entwicklungsländern. In: Wasserwirtschaft 72, Nr. 12, S. 401-408
- HERB, J. (1983): Mehr Kleinwasserkraftwerke wären durchaus möglich. In: Das Wassertriebwerk, 32. Jg., H. 9, S. 68-71
- HOLDREN, J.P. (1981): Renewables in the U.S. Energy Future: How much, how fast? In: Energy, Vol. 6, S. 901-916
- JEFFS, E.J. (1979): The application potential of hydro power. In: Energy, Vol. 4, S. 841-849
- JENS, G. (1984): Der Bau von Fischwegen. In: Wasser und Boden, 36. Jg., Nr. 1, S. 23-27

- JOPPICH, Ch. (1973): Meteorologische Entwicklung der Emshochwasser. In: Berichte d. Instituts f. Meteorologie u. Klimatologie d. Techn. Univ. Hannover, Nr. 9
- KALLMANN, R. (1984): Der Asynchrongenerator. In: Wasser, Energie, Luft, H. 3/4, S. 33-43
- KAPS, P. (1984): Gedanken zur Nutzungsmöglichkeit der Wasserkraft in Nordrhein-Westfalen, o.J., unveröff., Münster (= Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe)
- KELLER, R. (Hg.) (1901): Die Aller und die Ems. In: Weser und Ems, ihre Stromgebiete und ihre wichtigsten Nebenflüsse, Bd. IV. Berlin
- KELLER, R. et al. (Hg.) (1979): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. Text- und Kartenband. Boppard
- KEYL, L. u. H. HÄCKERT (1949): Wasserkraftmaschinen und Wasserkraftanlagen, 3. Aufl. Stuttgart
- KÖNIG, F. (1983): Energiealternativen - Vorschläge zur Nutzung von Sonne, Wind, Wasser, Biogas und Wärmepumpen mit praktischen Anleitungen. Ravensburg (= Ravensburger Freizeit-Taschenbücher, Bd. 138)
- KÖSSLER, E. (1980): Kleinkraftwerke - Ökologie - Umweltgestaltung. In: Das Wassertriebwerk, 29. Jg., H. 4, S. 27-30
- KÖSSLER, E. (1983a): Kleine Wasserkraftwerke in Österreich. Unveröff. Manuskript
- KÖSSLER, E. (1983b): Moderne Kleinwasserkraftwerke für Mühlen. Unveröff. Manuskript
- KÖSSLER, E. (1983c): Umweltfreundliche Kleinkraftwerke. Vortragsmanuskript f. Fachtagung "Umwelt und Kleinkraftwerke", 27./28. 10.1983 in St. Georgen, Österreich
- KRÜMMEL, O. (1903): Die geogr. Verbreitung d. Wind- u. Wassermotoren im Deutschen Reich. Nach der Gewerbebeziehung v. 14.6. 1895 dargestellt. In: Petermanns Geogr. Mitt., H. 8, S. 169-173
- LANDESAMT F. DATENVERARBEITUNG U. STATISTIK (1980): Statist. Jahrbuch Nordrhein-Westfalen, 22. Jg. Düsseldorf
- LANDESANSTALT F. GEWÄSSERKUNDE (1914): Die Wasserkräfte des Berg- und Hügellandes in Preussen und benachbarten Staatsgebieten. Berlin
- LIECKFELD, C.-P. (1984): Auen statt stauen. In: Natur, Nr. 8, S. 20-27
- LIECKFELD, C.-P. (1985): Der Friede, der aus der Kälte kam. In: Natur, Nr. 3, S. 68-73

- LEOPFE, R. (o.J.): Bedeutung der Kleinwasserkraftwerke. In: WEBER, G. (Hg.): Kleinwasserkraftwerke. Vorträge der Fachtagung 1984 in Zürich, S. 13-23. Baden, Schweiz (= Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, Verbandsschrift 45)
- LOTTE, G. (1959): Was kostet eine Kleinwasserkraftanlage. In: Landesverband Bayrischer Kleinwasserkraftwerke (Hg.): Kleine Wasserkraftanlagen für die öffentliche Energieversorgung, S. 7-12. München
- LOVINS, A.B. et al. (1983): Wirtschaftlichster Energieeinsatz: Lösung des CO₂-Problems. In: Alternative Konzepte, 42. Karlsruhe
- LUDIN, A. (1955): Wasserkraftanlagen. Band I: Planung, Grundlagen und Grundzüge. Berlin (= Slg. Göschen, Bd. 665)
- MAASJOST, L. (1932): Landschaftscharakter und Landschaftsgliederung der Senne. Diss. Münster
- MEISEL, S. (1959): Westfälische Tieflandsbucht. In: MEYNEN, E. et al. (Hg.): Handbuch d. naturräuml. Gliederung Deutschlands, 6. Lieferung, S. 800-812. Bundesanstalt f. Landeskunde, Remagen
- MELF (Ministerium f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten) (Hg.) (1984): Kleinwasserkraftnutzung - Modellraum Obere Ruhr und Lenne. Düsseldorf
- MELF (Ministerium f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten) (Hg.) (1985): Feuchtwiesen besser schützen - Sofortprogramm der Landesregierung. In: LÖLF-Mitteilungen, 10. Jg., H. 1, S. 9-13
- MELIß, M. (1984): Regenerative Energiequellen. In: Brennstoff-Wärme-Kraft 36, Nr. 4, S. 134-139
- MEYERS, St. u. L. SCHIPPER (1984): Energy in American Homes: Changes and Prospects. In: Energy, Vol. 9, No. 6, S. 495-504
- MICHEL, P. (o.J.): Umweltschutz: Fischerei und Restwasser; Landschaftsschutz. In: WEBER, G. (Hg.): Kleinwasserkraftwerke. Vorträge der Fachtagung 1984 in Zürich. Baden, Schweiz (= Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, Verbandsschrift 45, S. 51-64)
- MINISTER F. WIRTSCHAFT, MITTELSTAND U. VERKEHR (1984): Energiepolitik in Nordrhein-Westfalen - Positionen und Perspektiven. Düsseldorf
- MOSONYI, E. (1966): Wasserkraftwerke. 2 Bde., 2. Aufl. Düsseldorf
- MÜLLER, P. (1981): Es tut sich etwas bei der Modernisierung und im Ausbau von Wasserkraftanlagen. In: Das Wassertriebwerk, 30. Jg., H. 7/8, S. 53-56

- MÜLLER, P. (1983): Wieviele Wasserkraftwerke gibt es in Deutschland? In: Das Wassertriebwerk, 32. Jg., H. 4, S. 19-20
- MÜLLER, W. (1939): Die Wasserräder. Leipzig (Reprint Detmold 1983)
- MÜLLER-WILLE, W. (1952): Westfalen - Landschaftliche Ordnung und Bindung eines Landes. Münster 1952 (Reprint Münster 1981)
- MÜLLER-WILLE, W. (1966): Bodenplastik und Naturräume Westfalens. Münster (= Spieker, Landeskundl. Beiträge u. Berichte, Bd. 14)
- NACHTNEBEL, H.-P. (1982): Kleinwasserkraftpotential Schwarzta. In: RADLER, S. (Hg.): Kleinwasserkraftwerke - Notwendigkeit und Bedeutung, S. 47-117. Wien (= Wiener Mitteilungen, Wasser - Abwasser - Gewässer, Nr. 48)
- NATERMANN, E. (1959): Der Wasserhaushalt des oberen Emsgebietes nach dem Au-Linien-Verfahren. Düsseldorf
- OTTO, F. (1982): Privates Wasserkraftwerk scheiterte am Landschaftsschutz. In: Wasserwirtschaft 72, Nr. 10, S. 367
- PFLUG, W. et al. (1980): Wasserbauliche Modellplanung Ems bei Rietberg auf landschaftsökologischer Grundlage. Münster (= Landesamt für Agrarordnung)
- POELMANN, H. (1953): Westfalen - Erd- u. Vorgeschichte. Münster
- PRESS, H. (1967): Stauanlagen und Wasserkraftwerke. Teil III: Wasserkraftwerke, 2. Aufl. Berlin/München
- PUCHER, E. (1979): Die Kleinkraftwerke in der Energiekrise. In: Das Wassertriebwerk, 28. Jg., H. 10, S. 65-70
- PUCHER, E. (1984): Kleinwasserkraftwerke in der öffentlichen Energieversorgung: Bedeutung, Technik, Kosten, Nutzen. In: Elektrizitätswirtschaft, H. 5, S. 215-218
- QUANTZ, L. (1948): Wasserkraftmaschinen. 9. Aufl.. Berlin/Göttingen
- RADLER, S. (Hg.) (1982): Kleinwasserkraftwerke - Notwendigkeit und Bedeutung. Wien (= Wiener Mitteilungen, Wasser-Abwasser-Gewässer, Nr. 48)
- RADLER, S. (1984): Grundsatzüberlegungen zum Bau von Kleinwasserkraftwerken. In: Wasser u. Boden, H. 8, S. 362-366
- RAUCH, A. (1948): Wasserkraftanlagen - Ihr Bau, ihre Betriebsführung und Instandsetzung. Stuttgart
- REYNOLDS, T.S. (1984): Mittelalterliche Ursprünge der industriellen Revolution. In: Spektrum der Wissenschaft, 9, S. 128-137
- RÜSEWALD, K. u. W. SCHÄFER (1937): Geographische Landeskunde Westfalens. Paderborn

- SCHIECHTL, H. (1984): Umweltgestaltung bei Wasserkraftanlagen am Lech. In: Wasserwirtschaft 74, Nr. 3, S. 118-121
- SCHLEGEL, W. (1981): Über die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse in der Senne. In: SERAPHIM, E.Th. (Hg.): Beiträge zur Ökologie der Senne, Teil III, S. 7-22. Bielefeld (= Berichte d. Naturwiss. Vereins f. Bielefeld u. Umgebung)
- SCHNEIDER, H. (1964): Geohydrologie Nordwestfalens. Berlin
- SCHNUG, A. (1985): Elektrizitätswirtschaft. In: Brennstoff-Wärme-Kraft, 37, Nr. 4, S. 151-159
- SCHOLZ, I. (1986): Möglichkeiten der Intensivierung der Kleinwasserkraftnutzung im Einzugsgebiet d. Oberen Lippe. Diplomarbeit Münster
- SCHREIBER, J. (1985): Alternative Energie I: Wind-Jammer. In: Natur, Nr. 1, S. 21-23
- SCHREPFER, H. (1972): Der Nordwesten. In: KREBS, N. (Hg.): Landeskunde von Deutschland. Darmstadt (Reprint)
- SCHROEDER, G. (1952): Die Wasserreserven des oberen Emsgebietes. In: Besondere Mitt. zum Deutschen Gewässerkundl. Jahrbuch, Nr. 5. Bielefeld
- SCHUSTER, G. (1982): Die große Verschwendung. In: Natur, Nr. 2, S. 50-58
- SCHWARZ, E. (1984): Energiesparen. In: Bild der Wissenschaft, Nr. 8, S. 88-94
- SIMON, K.-H. u. K.H. WÜST (1983): Potentialabschätzung - Pilotstudie Werra-Meißner-Kreis. In: Gesamthochschule Kassel und Ingenieurbüros Hydrotec/Flöcksmühle: Projekt "Wasserkraftnutzung in Hessen - Potential-, Pilot- und Konzeptstudie", Teil I und II. Kassel
- SMITH, N. (1980): Vom Wasserrad zur Wasserturbine. In: Spektrum der Wissenschaft, 3, S. 85-90
- SOMMER, E. (Hg.) (1956): Die Ems - Unsere Heimat - Unsere Welt. In: Deutsche Flüsse in Wort und Bild, Bd. 1. Burgsteinfurt
- SORENSEN, B. (1981): Renewable Energy Planning for Denmark and other countries. In: Energy, Vol. 6, S. 293-303
- SPERLING, W. (1934): Langjährige Wasserstands- und Abflussschwankungen in den deutschen Flüssen. In: Deutsche Wasserwirtschaft, Nr. 8, S. 161-164
- SPERLING, W. (1949): Der Wasserhaushalt des Emsgebietes. Unveröff. Manuskript. Münster

- SPERLING, W. (1950): Die Wasserführung der offenen Gewässer im Emsgebiet und den angrenzenden Flußgebieten bei Niedrigwasser. Unveröff. Manuskript. Münster
- SPERLING, W. (1955): Zusammenhänge zwischen Niederschlag, Abfluß, Verdunstung und den Schwankungen des Wasservorrats im Oberen Emsgebiet. In: Das Gas- und Wasserfach, 96. Jg., H. 6/12, S. 1-15
- STROHM, H. (1981): Friedlich in die Katastrophe, 4. Aufl. Frankfurt
- TEUFEL, D. u. B. RUSKE (1980): Energieversorgung Bundesrepublik Deutschland - Situation und Alternativen. (IFEU-Institut), 2. Aufl. Heidelberg
- VOß, A. (1981): Energiewirtschaftliche Gesamtsituation. In: Brennstoff-Wärme-Kraft, 33, Nr. 4, S. 125-128
- WASSERWIRTSCHAFTSAMT MÜNSTER (1961): Das Abflußjahr 1959/60 in der Reihe niederschlags- und abflußarmer Jahre seit 1853 im Münsterland. Düsseldorf
- WASSERWIRTSCHAFTSSTELLE F. D. EMSGEBIET (o.J.): Erläuterungsbericht des allgemeinen Planes zum einheitlichen Ausbau der Ems von der Quelle bis Schöneflieth, o.J. (ca. 1930-35). Unveröff. Manuskript. Münster
- WEINBERG, A.M. (1979): Are the alternative energy strategies achievable? In: Energy, Vol. 4, S. 941-951
- WESTBELD, H. (1984a): Pilotprojekt im Stevertal: Stiftsmühle zu neuem Leben erweckt. In: Kreisheimatverein Coesfeld (Hg.): Jahrbuch 1984 Kreis Coesfeld, S. 5-14. Coesfeld
- WESTBELD, H. (1984b): Einzige Emission: Sauerstoff. In: Westfalenspiegel, 33. Jg., H. 4, S. 12-13
- WILHELM, F. (1976): Hydrologie/Glaziologie. In: Das Geographische Seminar, 3. Aufl. Braunschweig
- WINTER, C.-J., J. NITSCH u. H. KLAIB (1983): Sonnenenergie - Ihr Beitrag zur künftigen Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland. In: Brennstoff-Wärme-Kraft, 35, Nr. 5, S. 243-254
- WITTCHOW, F. (1985): Im Windschatten der anderen. In: Natur, Nr. 1, S. 24-27
- WOLF, U., N. KESSELS u. U. DUMONT (1983): Nutzungskonzeptionen kleiner Wasserkraftanlagen. In: Gesamthochschule Kassel und Ingenieurbüros Hydrotec/Flöcksmühle: Projekt "Wasserkraftnutzung in Hessen - Potential-, Pilot- und Konzeptstudie", Teil III. Kassel
- XUEMIN, C. (1985): China's Hydropower Potential and its Utilization. In: GeoJournal, 10/2, S. 141-149

SONSTIGE QUELLEN

Zeitschriften (Informationen ohne Autorengabe):

- Biblio aktuell 1980, Nr. 1
- Brennstoff-Wärme-Kraft 1984, Nr. 12
- Der Spiegel 1983, Nr. 23 u. 1984, Nr. 13
- Deutsche Gewässerkundliche Jahrbücher 1955-1984
- Wasser und Boden 1981, Nr. 9 u. 1984, Nr. 1
- Wasserwirtschaft 1981, Nr. 9 u. 1984, Nr. 5

Unterlagen:

- Gebietsbezeichnung und Flächenverzeichnis der Gewässer, hg. vom Landesamt für Wasser und Abfall
- Kartieranleitung für topographische Karten
- Firmenprospekte Voith, Escher-Wyss u. Drees
- Land- und forstwirtschaftliche Fachbeiträge Nr. 47, 65, 88, 136, 144, 146, 160, 161, 162, 163 und 174, bearb. v. d. Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe und der Höheren Forstbehörde

Karten:

- TK 25 "Gewässerstationierung", hg. vom Landesamt für Wasser und Abfall
- TK 50 "Gebietsbezeichnung der Gewässer im Lande Nordrhein-Westfalen", hg. vom Landesamt f. Wasser u. Abfall
- "Mittlere jährliche Niederschlagssummen (mm) der Periode 1931-1960 im Lande NRW, 2. Aufl., Düsseldorf 1982, bearb. vom Landesamt f. Wasser u. Abfall

Mündliche Auskünfte erteilten:

- Herr Rosenhagen, Gewässerkunde Senne, Sennestadt
- Herr Dr. Schroeder, StAWA, Münster
- Herr Kreienbaum, VEW, Münster
- Herr Kaps, Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Münster
- Herr Scholz u. Frau Rölker, Obere Wasserbehörde, Regierungspräsident, Münster
- Herr Bosse, Untere Wasserbehörde, Kreis Gütersloh, Rheda-Wiedenbrück
- Herr Bohlmann, Untere Wasserbehörde, Kreis Gütersloh, Halle
- Herr Joost, Untere Wasserbehörde, Kreis Warendorf, Warendorf
- Herr Kleine, Untere Wasserbehörde, Kreis Paderborn, Paderborn
- Herr Balk, Untere Wasserbehörde, Stadt Bielefeld, Bielefeld
- Herr Bröker, Arbeitsgemeinschaft Energieberatung, Hannover

sowie ca. 120 Mühlenbesitzer

A N H A N G

Tabelle 9 Lage, Ausstattung und Nutzung der 152 ehemaligen, bestehenden und noch betriebenen Wassermühlen im Untersuchungsgebiet

Tabelle 10 Leistungsdaten der 152 Wassermühlen nach Angaben und Potentialberechnung

(Nummern vgl. Abb. 32/Beilage)

Tabelle 9 Lage, Ausstattung und Nutzung der 152 ehemaligen, bestehenden und noch betriebenen Wassermühlen im Untersuchungsgebiet

Nr.	Wasserlauf	R-Wert 34....	H-Wert 57....	Wasserrad		Turbine		Gebäude/ Nutzung	Wehr	Bemerkungen
				Art	Ø	Art	Durchfluß			
1	Ems	76100	45650	?	?	?	?	--	--	vor 15 Jahren abgerissen
2	Ems	75150	44750	?	?			?	--	
3	Ems	74350	44425	2x ober-	ca. 2,3			--	++	Mühle vor 50 Jahren abgerissen
4	Ems	74100	44700	?	?			?	--	
5	Ems	72375	44100	ober-	3,20 m			++	++	ehemals Sägemühle
6	Furlbach	80400	51400	?	?			?	?	
7	Furlbach	79250	49150	ober-	ca. 2,5			--	Reste	bis 1945 Getreidemühle
8	Furlbach	78750	49300	ober-	?			++	++	1649 erwähnt, bis 1951 in Betrieb
9	Furlbach	77650	48775	mittel-	2,50 m			++	++	renoviert, Nutzung geplant
10	Furlbach	79200	48675	?	?			?	?	
11	Furlbach	74175	46750			?	?	++	++	sehr schlechter Zustand
*12	Furlbach	73700	46350	unter-	2,50 m			++	++	mit Denkmalmitteln renoviert
*13	Furlbach	73100	46100			Francis	400 - 500	++	++	vor ca. sechs Jahren reaktiviert
14	Ems	69750	44300					?	--	Ems bei Flurbereinigung verlegt
15	Ems	67075	41400			Francis	?	++	++	Ems bei Flurbereinigung verlegt
*16	Ems	63350	40300			Francis	750 l/sec	++	++	1984 für Stromerzeugung reaktiviert
17	Sennebach	79075	51425	?	?			?	?	heute große Forellenzucht
18	Sennebach	78200	51000	ober-	?			--	?	vor ca. 70/80 Jahren abgerissen
19	Ems	60600	41900					?	?	
20	Ems	57300	42475	3 x ?	?	?	?	++	--	Emsausbau im Gange, Mühle betoniert
21	Fortbach	46250	38475	ober-	?			?	?	Bis ca. 1940, Korn- u. Sägemühle
22	Fortbach	49125	38500			?	?	Wohnen	--	Fortbach 1977 ausgebaut
23	Ems	52500	44300					--	++	1903 abgebrochen
24	Ems	52600	44400					--	++	1963 abgebrochen
25	Ems	52450	44950					--	++	1969 abgebrochen
26	Wieksbach	50850	44825	?	?			--	--	um 1860 abgebrochen
27	Ems	51550	46600	unter-	5,0 m			++	++	1982 Renovierung, Denkmalschutz
28	Bullerbach	70800	56200	ober-	3,0 m			++	++	heute Fischzucht
*29	Bullerbach	70575	56100	ober-	3,0 m	Ossber.	?	--	++	Turbine selbst gebaut, zeitw. gen.
30	Dalke	67225	53675			Francis	?	--	++	Mühle vor 38 J. abgebrannt
31	Gasselbach	67350	55100	ober-	2,5 m			++	++	Mühle jetzt Wochenendhaus
32	Gasselbach	66775	54800	ober-	2,8 m			?	?	Sägemühle
*33	Dalke	64500	52925			Francis	?	Landhandel	++	Nutzung zum Mahlen
34	Dalke	62250	52725			Ossber.	850 l/sec	++	++	1978 aufgegeben
*35	Dalke	61525	51375			Francis	2000 l/sec	++	++	Seit 1980 Heizen mit Wirbelstrombr.
*36	Menkebach	76075	58425			Ossber.	150 l/sec	++	++	Mahlen/Abfluß durch Abpumpen weniger
37	Menkebach	75425	57675	ober-	4,0 m			++	--	Getreidemühle/1958 stillgelegt
38	Menkebach	73550	57275			?	?	++	--	früher Papiermühle/1950 stillgel.
39	Dalke	60125	52100					--	--	Dalke 1951 verlegt
*40	Dalke	58700	51650			Francis	800 l/sec	++	++	Getreidemühle/nur von 8-12h genutzt

++ = vorhanden, -- = nicht vorhanden

Forts. Tabelle 9

Nr.	Wasserlauf	R-Wert 34....	H-Wert 57....	Wasserrad		Turbine		Gebäude/ Nutzung	Wehr	Bemerkungen
				Art	Ø	Art	Durchfluß			
41	Dalke	57075	52225	ober-	?	?	?	Kunstgalerie	++	ca. 1971 stillgelegt
42	Dalke	56400	52075			?	?	?	++	
43	Dalke	53650	52400	ober-	ca. 2,0			++	++	früher Wapel auch genutzt
44	Wapelbach	74850	50350					--	--	Abbruch nach Zweitem Weltkrieg
45	Wapelbach	72725	48775					--	--	
46	Wapelbach	70800	47800					--	--	
47	Rodenbach	69650	48325	unter-	?			?	?	ca. 1939 stillgelegt
*48	Wapelbach	66225	46525			Francis		++	++	Turbine 1982 überholt, Probl. Nachb.
49	Wapelbach	64350	44950			Francis	700 l/sec	++	++	1980 stillgelegt
50	Wapelbach	57500	46300					--	--	Ölmühle, abgebrochen
51	Wapelbach	55100	47350			?	?	++	++	Anlage verfällt, Turbine vorhanden
52	Ölbach	77950	53300			?	?	Wohnen	++	früher Papiermühle
53	Ölbach	76875	52975	mittel-	2,8 m			--	--	ca. 1949 stillgelegt, abgerissen
54	Schnakenbach	76100	53725	ober-	2,84 m			++	++	Getreidemühle, auch Strom prod.
55	Ölbach	75500	52650					?	?	
56	Ölbach	75150	52500					?	?	
57	Ölbach	74850	52350					--	++	
58	Ölbach	73100	51950					?	?	Sägemühle, jetzt verlegt
59	Ölbach	72650	51675					?	?	
60	Ölbach	70150	50600	mittel-	3,5 m			++	++	Wehr und Gebäude überholt
61	Ölbach	68450	50550					?	?	
62	Landerbach	74750	53850	unter-	?			Wohnen	++	ca. 1930 stillgelegt, geringer Abf.
63	Landerbach	70500	52025	ober-	?			--	++	1959 stillgelegt, Abfluß vermindert
64	Ölbach	65750	50525			?	?	?	?	Getreide- und Sägemühle
*65	Ölbach	64150	50200			Francis	1000 l/sec	++	++	1982 reaktiviert für Heizung
66	Ölbach	61650	48575	unter-	?			++	++	1975 stillgelegt, Mahlen mit Strom
*67	Ölbach	58800	47300			Francis	?	++	++	Mahlen, keine Nutzung Wochenende
*68	Ölbach	55225	48550			Francis	950 l/sec	++	++	1984 reaktiviert, Stromerzeugung
69	Ems	50500	54950					++	++	Ems verlegt
70	Ems	48200	55975			2x Fran.	?	--	++	Ems verlegt, 1937 stillgelegt
71	Lutter	65200	62750					--	--	ca. 1925 stillgelegt, abgerissen
72	Lutter	64340	61900	ober-	?			--	++	Kupferhammer, 1861 stillgelegt
73	Lutter	63550	61225					++	++	Besitz Stadt Bielefeld, verfällt
74	Lutter	63350	61150	ober-	?			--	--	Sägemühle
75	Lutter	60550	60525			?	?	Wohnen	++	Getreide- und Sägemühle
76	Lutter	60450	57850			Francis	?	++	++	Interesse an Reaktivierung
77	Reiherbach	67925	57700					?	?	
78	Reiherbach	67200	57525	?	?			Getränkehan.	--	bis nach dem Krieg gelaufen
79	Reiherbach	66225	57800					++	--	
80	Reiherbach	65475	57700	ober-	2,4 m			?	?	Öl- und Korrmühle

Forts. Tabelle 9

Nr.	Wasserlauf	R-Wert 34....	H-Wert 57....	Wasserrad		Turbine		Gebäude/ Nutzung	Wehr	Bemerkungen
				Art	Ø	Art	Durchfluß			
81	Reiherbach	66375	57550	ober-	?			++	--	bis ca. 1945 gelaufen
*82	Reiherbach	62950	57100			Francis	300 l/sec	++	++	Getreidemühle/durchgehend betrieben
83	Reiherbach	62350	56925			Francis	232 l/sec	++	++	Interesse an Stromerzeugung
84	Lutter	59800	56900			2 Fran.	?	++	++	ca. 1965 stillgelegt
85	Lutter	55700	56025			?	?	--	++	Feilenschleiferei, Turb. zugemauert
86	Lutter	50500	57000			?	?	++	++	Getreidemühle bis 1960
*87	Lutter	47200	58050			Francis	1000 l/sec	++	++	Mahlen mit Strom/2. Turb. gesucht
88	Abrooksbach	60250	65225	ober-	4,0 m			++	++	Getreidemühle bis ca. 1951
89	Abrooksbach	60050	64900			?	?	--	++	Wasser für 3 Std./1968 stillgelegt
90	Abrooksbach	59600	63775	ober-	2,5 m			Wohnen	++	Teich abgebunden bei Straßenbau
91	Foddenbach	57300	64150	unter-	3,0 m			--	++	ca. 1945 stillgelegt
92	Abrooksbach	59300	62800	ober-	3-4 m			++	++	ca. 1940 stillgelegt/Abfl. vermin.
*93	Abrooksbach	55150	61750	2 ober-	4,0 m	Francis	587 l/sec	++	++	nur zeitweise für Schrotten genutzt
94	Sandforther Bach	55900	65350	ober-	3,0 m			++	--	Mahl- und Sägemühle bis ca. 1928
95	Abrooksbach	52550	61550	3 ober-	1,5 m	?	500 l/sec	?	?	bis 1972/73 gelaufen
*96	Abrooksbach	49575	60225			?	?	++	++	Sägemühle, zeitweise betrieben
97	Abrooksbach	48700	59725			?	?	++	--	1965 stillgelegt, Flurbereinigung
98	Ruthenbach	?	?					?	?	Gelände der Firma Storck
99	Laibach	54200	68050	ober-	?			Wohnen	--	Ölmühle
100	Laibach	53850	67850	ober-	3,2 m			--	++	
101	Künse	58350	68175					?	?	Abgebrochen
102	Künse	57975	67650	ober-	3,0 m			Wohnen	--	1959 stillgelegt, Wasserrad verfallen
103	Künse	57950	67550	ober-	3,0 m			Wohnen	--	ca. 1928 stillgelegt, Wasserr. verfallen
104	Künse	58250	67300	ober-	?			Wohnen	--	ca. 1905 stillgelegt, Ölmühle
105	Künse	57225	66625					?	?	nur Fundamentreste
106	Rhedaer Bach	51350	64050	ober-	3,5 m	Francis	400 l/sec	++	++	1971 stillgel./2 Turbinen vorhanden
107	Ems	38825	59750	ober-	?	?	?	++	++	1935 stillgelegt/Ems verlegt
108	Gellenbecke	39675	40050					?	?	Getreidemühle
109	Axtbach	39550	40350			?	?	?	?	
110	Axtbach	50750	41400					?	?	geplant, nicht ausgeführt!
111	Axtbach	41050	42900					?	?	
112	Axtbach	51025	43075	ober-	3,5 m			++	++	Wasserrad renoviert, Stadtgärtner
113	Axtbach	43975	45600			?	?	++	--	Strom produziert, heute mehr Abfluß
114	Axtbach	44650	46550			Francis	?	++	--	1958 bei Flurbereinigung aufgegeben
*115	Axtbach	45625	47650			Francis	450 l/sec	++	++	Reaktivierung 1985 geplant
116	Axtbach	43550	52550			Francis	1000 l/sec	++	--	Flurbereinigung Bach verlegt
117	Axtbach	39000	55650					?	--	Sägemühle
118	Geisterbach	38150	45225	ober-	?			--	--	Getreide- und Sägemühle
119	Beilbach	39300	47975			Francis	?	++	--	Stau 1929 bei HW eingebrochen
120	Beilbach	40050	49600			Francis	522 l/sec	--	--	geplant, nicht ausgeführt

Tabelle 10 Leistungsdaten der 152 Wassermühlen nach Angaben und Potentialberechnung

Nr.	Wasserlauf	Ort	Nutzung für/ seit	Wasserrecht	Einzugsgebiet (qkm)	Fallhöhe (m)	Ausbau- durchfluß (l/sec)	Leistung ange. ber. (kW)	Jahresarbeit 1975 (kWh)	MQ (l/s)	MNQ (l/s)	MHQ (l/s)
1	Ems	Hövelhof	?	--	12,62	3,5	167	4,1	15 692	116	3	3468
2	Ems	Hövelhof	?	--	15,07	3,0	200	4,2	16 061	139	4	4141
3	Ems	Hövelhof	?	--	15,50	3,5	205	5,1	19 273	143	4	4260
4	Ems	Hövelhof	?	--	1,90	3,5	25	0,6	2 362	17	1	522
5	Ems	Hövelhof	?	++	19,56	1,4	259	2,6	9 728	180	5	5376
6	Furlbach	Augustd.	?	?	0,88	2,5	12	0,2	701	8	0	242
7	Furlbach	Schloß H. Stukenbr.	1945	++	38,78	2,5	514	9,1	34 443	357	10	10658
8	Furlbach	Schloß H. Stukenbr.	ca. 1951	?	39,52	2,0	524	7,4	28 080	363	10	10862
9	Furlbach	Schloß H. Stukenbr.	?	++	42,19	2,4	559	9,5	35 972	388	11	11595
10	Furlbach	Schloß H. Stukenbr.	?	?	42,67	2,0	566	8,0	30 318	393	11	11727
11	Furlbach	Hövelhof	?	++	45,92	2,5	609	10,7	40 784	423	12	12621
12	Furlbach	Hövelhof	?	++	46,40	1,5	615	6,5	24 726	427	12	12753
* 13	Furlbach	Hövelhof	Stromerzeugung	++	47,12	2,9	625	6,0 12,8	48 546	433	12	12950
14	Ems	Verl 2	?	?	93,87	2,0	1 244	17,6	66 697	864	24	25800
15	Ems	Delbrück	1968/69	--	101,21	2,2	1 341	20,3 20,8	79 102	932	26	27817
16	Ems	Rietberg	Stromerzeugung	++	106,31	2,1	1 409	12,7 20,9	79 310	979	27	29219
17	Sennebach	Schloß H. Stukenbr.	?	++	5,24	3,5	69	1,7	6 515	48	1	1440
18	Sennebach	Schloß H. Stukenbr.	?	++	5,74	2,5	76	1,3	5 098	53	1	1577
19	Ems	Rietberg	?	?	120,52	2,7	1 597	30,4	115 600	1110	31	33124
20	Ems	Rietberg	ca. 1976	--	160,06	2,3	2 121	34,4	130 782	1474	41	43 992
21	Fortbach	Beckum	1940	?	11,97	3,0	159	3,4	12 757	110	3	3 290
22	Fortbach	Langenb.	?	--	15,45	2,5	205	3,6	13 722	142	4	4 246
23	Ems	Rh.-Wied.	ca. 1900	?	322,76	2,2	4 278	66,4	252 257	2971	82	88 711
24	Ems	Rh.-Wied.	?	?	322,76	2,2	4 278	66,4	252 257	2971	82	88 711
25	Ems	Rh.-Wied.	?	?	323,27	2,1	4 285	63,5	241 172	2976	82	88 851
26	Wieksbach	Rh.-Wied.	?	?	0,77	3,5	10	0,3	957	7	0	212
27	Ems	Rh.-Wied.	ca. 1968	++	335,73	2,0	4 450	62,8	178 903	3091	85	92 275
28	Dalke	Sennest.	ca. 1940	++	6,50	3,0	84	1,8	7 483	60	2	1 787
* 29	Dalke	Sennest.	Strom zeitw.	++	6,73	3,0	87	3,2 1,8	7 748	62	2	1 850
30	Dalke	Verl	1981	++	20,44	3,0	265	5,6	23 531	188	5	5 618
31	Gasselbach	Bielefeld	?	++	10,52	2,7	136	2,6	10 900	97	3	2 891
32	Gasselbach	Bielefeld	?	++	10,80	2,8	140	2,8	11 604	99	3	2 968
* 33	Dalke	Gütersloh	Getreidemühle	++	41,40	3,0	536	11,4	47 662	381	10	11 379
34	Dalke	Gütersloh	1978	++	44,68	1,8	578	11,2 7,4	30 863	411	11	12 280
* 35	Dalke	Gütersloh	Heizung	++	47,95	2,0	621	16,0 8,8	36 802	441	12	13 179
* 36	Menkebach	Derlingh.	Getreidemühle	++	2,81	6,7	36	7,8 1,7	7 225	26	1	772
37	Menkebach	Derlingh.	1958	--	4,12	4,0	53	1,5	6 324	38	1	1 132
38	Menkebach	Derlingh.	ca. 1950	++	11,44	3,0	148	17,0 3,1	13 170	105	3	3 144

++ = vorhanden, -- = nicht vorhanden

Forts. Tabelle 10

Nr.	Wasserlauf	Ort	Nutzung für/ seit	Wasserrecht	Einzugsgebiet (qkm)	Fallhöhe (m)	Ausbau-durchfluß (l/sec)	Leistung angeber. (kW)	Jahresarbeit 1975 (kWh)	MQ (l/s)	MNQ (l/s)	MHQ (l/s)
39	Dalke	Gütersloh	?	--	77,84	2,0	1 007	14,2	59 742	717	20	21 394
*40	Dalke	Gütersloh	Getreidemühle	++	81,02	3,0	1 049	17,4	93 271	746	21	22 268
41	Dalke	Gütersloh	ca. 1971	++	85,33	2,6	1 104	20,3	85 135	786	22	23 453
42	Dalke	Gütersloh	?	++	87,05	2,0	1 127	15,9	66 811	801	22	23 926
43	Dalke	Gütersloh	1937/38	++	89,34	2,5	1 156	20,4	85 707	822	23	24 555
44	Wapelbach	Schloß H. Stukenbr.	?	++	3,61	2,7	47	0,9	3 740	33	1	992
45	Wapelbach	Schloß H. Stukenbr.	?	?	6,27	3,0	81	1,7	7 218	58	2	1 723
46	Wapelbach	Verl	?	?	8,66	3,0	112	2,4	9 970	80	2	2 380
47	Rodenbach	Verl	ca. 1939	?	11,06	1,2	143	1,2	5 093	102	3	3 040
*48	Wapelbach	Verl	Mahlen zeitw.	++	34,34	2,5	444	7,8	32 945	316	9	9 438
49	Wapelbach	Gütersloh	1980	++	41,60	1,5	538	10,1	23 946	383	11	11 434
50	Wapelbach	Rh.-Wied.	?	?	60,69	2,0	785	11,1	46 580	559	15	16 681
51	Wapelbach	Rh.-Wied.	?	++	66,20	2,0	857	12,1	50 809	609	17	18 195
52	Ölbach	Schloß H. Stukenbr.	?	++	6,76	4,0	87	2,5	10 376	62	2	1 858
53	Ölbach	Schloß H. Stukenbr.	ca. 1949	++	8,93	2,0	116	1,6	6 854	82	2	2 454
54	Schnakenbach	Schloß H. Stukenbr.	?	--	4,97	3,2	64	1,5	6 103	46	1	1 366
55	Ölbach	Schloß H. Stukenbr.	?	?	15,79	4,0	204	5,8	24 238	145	4	4 340
56	Ölbach	Schloß H. Stukenbr.	?	?	16,46	3,5	213	5,3	22 108	152	4	4 524
57	Ölbach	Schloß H. Stukenbr.	?	?	16,58	1,5	215	2,3	9 544	153	4	4 557
58	Ölbach	Schloß H. Stukenbr.	?	?	18,37	3,0	238	5,0	21 148	169	5	5 049
59	Ölbach	Schloß H. Stukenbr.	?	?	18,71	2,0	242	2,4	14 360	172	5	5 142
60	Ölbach	Verl	ca. 1976	++	21,49	2,5	278	4,9	20 617	198	5	5 907
61	Ölbach	Verl	?	?	25,59	2,5	331	5,8	24 550	236	6	7 033
62	Landerbach	Schloß H. Stukenbr.	ca. 1930	++	7,00	1,5	91	1,0	4 029	64	2	1 924
63	Landerbach	Verl	1959	++	11,62	3,0	150	3,2	13 377	107	3	3 194
64	Ölbach	Verl	?	?	46,90	2,2	607	9,4	39 595	432	12	12 890
*65	Ölbach	Verl	Heizung	++	50,30	1,6	651	11,6	30 884	463	13	13 825
66	Ölbach	Gütersloh	1975	--	55,58	1,5	719	7,6	31 993	512	14	15 276
*67	Ölbach	Gütersloh	Mahlen	++	63,47	2,0	821	21,7	48 713	584	16	17 445
*68	Ölbach	Rh.-Wied.	Stromerzeugung	++	68,88	2,0	891	15,5	52 865	634	17	18 932
69	Ems	Gütersloh	?	?	620,37	2,0	8 029	113,4	476 133	5 711	157	170 509
70	Ems	Herzebr.	1937	--	622,61	1,5	8 058	65,0	358 386	5 732	158	171 124
71	Lutter	Bielefeld	ca. 1925	++	0,35	4,5	5	0,1	604	3	0	96
72	Lutter	Bielefeld	1861	++	4,82	3,5	62	1,5	6 474	44	1	1 325
73	Lutter	Bielefeld	?	++	5,86	3,4	76	1,8	7 646	54	1	1 611
74	Lutter	Bielefeld	?	++	6,10	1,5	79	0,8	3 511	56	2	1 677
75	Lutter	Bielefeld	?	++	7,10	3,0	92	2,0	8 174	65	2	1 951
76	Lutter	Bielefeld	1970	++	23,67	3,1	306	8,7	28 158	218	6	6 506

Forts. Tabelle 10

Nr.	Wasserlauf	Ort	Nutzung für/ seit	Wasserrecht	Einzugsgebiet (qkm)	Fallhöhe (m)	Ausbau- durchfluß (l/sec)	Leistung ange. (kW)	ber. (kW)	Jahresarbeit 1975 (kWh)	MQ (l/s)	MNQ (l/s)	MHQ (l/s)
77	Reiherbach	Bielefeld	?	++	3,02	4,0	39		1,1	4 636	28	1	830
78	Reiherbach	Bielefeld	?	++	11,62	5,0	150		5,3	22 296	107	3	3 194
79	Reiherbach	Bielefeld	?	?	13,22	3,5	171		4,2	17 756	122	3	3 634
80	Reiherbach	Gütersloh	?	--	13,95	2,6	181	5,0	3,3	13 918	128	4	3 834
81	Reiherbach	Bielefeld	ca. 1945	?	19,77	3,0	256		5,4	22 760	182	5	5 434
*82	Reiherbach	Gütersloh	Mahlen	++	23,26	3,2	301	8,7	6,8	28 563	214	6	6 393
83	Reiherbach	Gütersloh	1982	++	24,61	2,0	319	5,1	4,5	18 888	227	6	6 764
84	Lutter	Gütersloh	ca. 1965	++	51,68	2,5	669	14,5	11,8	49 581	476	13	14 204
85	Lutter	Gütersloh	?	++	60,22	1,9	779	15,9	10,5	43 908	554	15	16 551
86	Lutter	Harsewink	1960	--	73,25	3,0	948	12,0	20,1	84 327	674	19	20 133
*87	Lutter	Harsewink	Mahlen	++	138,32	2,0	1790	15,9	25,3	106 158	1273	35	38 017
88	Abrooksbach	Steinhag.	ca. 1951	++	1,81	4,5	23		0,7	3 126	17	1	497
89	Abrooksbach	Steinhag.	1968	++	2,64	3,0	34		0,7	3 039	24	1	726
90	Abrooksbach	Steinhag.	1964	--	6,15	3,0	80	5,1	1,7	7 080	57	2	1 690
91	Foddenbach	Steinhag.	ca. 1945	++	4,93	3,0	64		1,4	5 676	45	1	1 355
92	Abrooksbach	Steinhag.	ca. 1940	++	5,58	4,0	72		2,0	8 565	51	1	1 534
*93	Abrooksbach	Steinhag.	Mahlen	++	22,62	4,2	293	15,9	8,7	36 458	208	6	6 217
94	Sandforther B.	Halle	ca. 1928	--	2,70	3,5	35		0,9	3 626	25	1	742
95	Abrooksbach	Brockhag.	1972/73	--	39,03	2,0	505	7,0	7,1	29 955	359	9	10 727
*96	Abrooksbach	Harsewink	Sägemühle	++	62,30	2,5	806	14,5	14,2	59 770	574	16	17 123
97	Abrooksbach	Harsewink	1965	--	63,16	2,2	817	13,0	12,7	53 323	581	16	17 360
98	Ruthenbach	Halle	?	?	3,94	3,5	51		1,3	5 292	36	1	1 083
99	Rhedaer Bach	Halle	?	++	9,36	5,0	121		4,3	17 959	86	2	2 573
100	Rhedaer Bach	Halle	?	++	9,78	3,5	127		3,1	13 136	90	2	2 688
101	Künsebecker B.	Halle	?	?	1,20	5,0	16		0,6	2 303	11	0	330
102	Künsebecker B.	Halle	1959	++	2,50	3,5	32		0,8	3 358	23	1	687
103	Künsebecker B.	Halle	ca. 1928	++	2,67	3,5	35	14,5	0,9	3 586	25	1	734
104	Künsebecker B.	Halle	ca. 1905	++	2,83	3,5	37		0,9	3 801	26	1	778
105	Künsebecker B.	Halle	?	?	3,49	3,0	45		1,0	4 018	32	1	959
106	Rhedaer Bach	Halle	1971	++	30,31	4,0	392	23,9	11,1	46 526	279	8	8 331
107	Ems	Harsewink	1935	--	977,64	2,0	12 653	178,6		750 339	9000	248	268 704
108	Gellenbecke	Delde	?	++	2,23	5,0	29		1,0	4 279	21	1	613
109	Axtbach	Delde	?	--	6,80	3,5	88	8,7	2,2	9 133	63	2	1 869
110	Axtbach	Delde	nur geplant	--	2,21	3,5	29		0,7	2 968	20	1	607
111	Axtbach	Delde	?	?	24,07	3,0	312		6,6	27 711	222	6	6 616
112	Axtbach	Delde	ca. 1964	++	24,19	5,0	313		11,1	46 415	223	6	6 649
113	Axtbach	Delde	ca. 1964	--	35,34	2,1	457	10,1	6,8	28 480	325	9	9 713
114	Axtbach	Delde	1958	--	48,38	2,1	626	8,7	9,3	38 988	445	12	13 297

Forts. Tabelle 10

Nr.	Wasserlauf	Ort	Nutzung für/ seit	Wasserrecht	Einzugsgebiet (qkm)	Fallhöhe (m)	Ausbau- durchfluß (l/sec)	Leistung ange. (kW)	ber. (kW)	Jahresarbeit 1975 (kWh)	MQ (l/s)	MNQ (l/s)	MHQ (l/s)
*115	Axtbach	Oelde	Stromerzeugung	++	50,06	3,8	648	13,0	17,4	72 999	461	13	13 759
116	Axtbach	Clarholz	1964	--	86,83	2,8	1 124	21,7	22,2	93 296	799	22	23 865
117	Axtbach	Beelen	?	?	101,25	2,0	1 310		18,5	77 708	932	26	27 829
118	Geisterbach	Oelde	ca. 1860(?)	?	8,02	5,0	104		3,7	15 388	74	2	2 204
119	Beilbach	Ennigerl.	1929	++	17,42	2,5	225	17,4	4,0	16 712	160	4	4 788
120	Beilbach	Ennigerl.	nur geplant	--	26,97	2,3	349	8,7	5,7	23 804	248	7	7 413
121	Beilbach	Oelde	1946	--	31,66	2,2	410		6,4	26 729	291	8	8 702
122	Mühlenbach	Ennigerl.	1962	--	5,91	5,0	76		2,7	11 340	54	2	1 624
123	Geisterbach	Ennigerl.	ca. 1937/38	++	8,46	5,0	110	ca. 29	3,9	16 232	78	2	2 325
124	Geisterbach	Ennigerl.	?	--	9,69	3,5	125		3,1	13 015	89	2	2 663
125	Axtbach	Warendorf	?	?	210,50	2,0	2 724		38,5	161 555	1 938	53	57 856
126	Ems	Warendorf	?	?	1217,88	1,6	15 762		178,0	747 780	11 212	309	334 934
127	Ems	Warendorf	1964	++	1254,05	3,0	16 230	344,9	343,7	1 443 721	11 545	318	344 684
128	Hessel-Nebenb.	Berghaus.	?	?	1,27	5,5	16		0,6	2 681	12	0	349
129	Hessel-Nebenb.	Borgholz.	?	++	1,70	4,5	22		0,7	2 936	16	0	467
130	Hessel-Nebenb.	Versmold	?	++	8,99	4,0	116		3,3	13 799	83	2	2 471
131	Hessel	Halle	?	?	3,84	5,0	50		1,8	7 368	35	1	1 055
132	Hessel	Halle	ca. 1958	--	7,06	5,0	91		3,2	13 546	65	2	1 940
133	Hessel	Borgholz.	?	--	9,18	4,5	119		3,8	15 852	85	2	2 523
134	Hessel	Borgholz.	1958	--	12,48	3,5	162		4,0	16 762	115	3	3 430
*135	Hessel	Versmold	Mahlen	++	28,50	2,0	369	8,7	5,2	21 874	262	7	7 833
*136	Hessel	Versmold	Sägewerk	++	29,56	2,8	383	8,7	7,6	31 762	272	7	8 125
137	Wellenbach	Versmold	ca. 1980	?	2,27	4,5	29		0,9	3 920	21	1	624
138	Wellenbach	Versmold	1955	++	3,38	3,5	44		1,1	4 540	31	1	929
139	Alsterbach	Versmold	ca. 1935	?	15,00	3,0	194		4,1	17 269	138	4	4 124
140	Hessel	Versmold	ca. 1975	++	52,17	2,8	675	18,1	13,3	56 057	480	13	14 339
141	Aabach	Borgholz.	1974	--	2,70	4,0	35		1,0	4 145	25	1	742
142	Aabach	Borgholz.	1958	++	2,82	2,5	37		0,6	2 705	26	1	775
143	Aabach	Borgholz.	ca. 1969	++	4,62	3,5	60		1,5	6 205	43	1	1 270
144	Aabach	Borgholz.	?	?	5,30	3,5	69		1,7	7 118	49	1	1 457
*145	Aabach	Versmold	Mahlen	++	13,94	2,2	180	7,2	2,8	11 769	128	4	3 831
146	Dissener Bach	Dissen	ca. 1930	?	7,45	4,0	96		2,7	11 436	69	2	2 048
147	Aabach	Versmold	?	?	32,98	2,2	427		6,6	27 843	304	8	9 065
148	Aabach	Versmold	?	++	38,32	2,5	496		8,8	36 763	353	10	10 532
149	Hessel	Versmold	1946	--	116,76	1,5	1 511	ca. 6,5	16,0	67 209	1 075	30	32 091
150	Hessel	Sassenb.	?	--	159,46	2,5	2 064		36,4	152 978	1 468	40	43 828
151	Hessel	Sassenb.	?	++	159,46	2,5	2 064		36,4	152 978	1 468	40	43 828
152	Hessel	Warendorf	1962	--	207,19	2,2	2 681		41,6	174 917	1 907	53	56 946

VERÖFFENTLICHUNGEN DER GEOGRAPHISCHEN
KOMMISSION FÜR WESTFALEN

**ARBEITEN DER GEOGRAPHISCHEN KOMMISSION
(1938 – 1942)**

1. **Riepenhausen, H.:** Die bäuerliche Siedlung des Ravensberger Landes bis 1770. 1938
2. **Krakhecken, M.:** Die Lippe. 1939
3. **Ringleb, Fr.:** Klimaschwankungen in Nordwestdeutschland (seit 1835). 1940
4. **Lucas, O.:** Das Olper Land. 1941
5. **Uekötter, H.:** Die Bevölkerungsbewegung in Westfalen und Lippe 1818 – 1933. 1941
6. **Heese, M.:** Der Landschaftswandel im mittleren Ruhr-Industriegebiet seit 1820. 1941
7. **Bertelsmeier, E.:** Bäuerliche Siedlung und Wirtschaft im Delbrücker Land. 1942

WESTFÄLISCHE GEOGRAPHISCHE STUDIEN

1. **Müller-Wille, W.:** Schriften und Karten zur Landeskunde Nordwestdeutschlands 1939 – 1945. 1949
2. **Müller-Temme, E.:** Jahressgang der Niederschlagsmenge in Mitteleuropa. 1949
3. **Müller, H.:** Die Halterner Talung. 1950
4. **Herbort, W.:** Die ländlichen Siedlungslandschaften des Kreises Wiedenbrück um 1820. 1950
5. **Fraling, H.:** Die Physiotope der Lahntalung bei Laasphe. 1950
6. **Schuknecht, F.:** Ort und Flur in der Herrlichkeit Lembeck. 1952
7. **Niemeier, G.:** Die Ortsnamen des Münsterlandes. 1953
8. **Eversberg, H.:** Die Entstehung der Schwerindustrie um Hattingen 1847 – 1857. 1955
9. **Pape, H.:** Die Kulturlandschaft des Stadtkreises Münster um 1828. 1956
10. **Hessberger, H.:** Die Industrielandschaft des Beckumer Zementreviers. 1957
11. **Pfaff, W.:** Die Gemarkung Ohrsen in Lippe. 1957
12. **Denecke, K.:** Flüsse und Wasserwirtschaft, Wasserbiologie und Wasserkrankheiten in Mesopotamien. 1958
13. **Timmermann, O., L. Hempel u. H. Hambloch:** Zur Kulturgeographie der Öztaler Alpen. 1958
14. **Heising, P. H.:** Missionierung u. Diözesanbildung in Kalifornien. 1962
15. **Entwicklungshilfe und Entwicklungsland.** Begriff, Probleme und Möglichkeiten. A. Antweiler, W. Manshard, R. Mohr, G. Pfeifer, E. Sarkisyans, O. Timmermann. 1962
15. **Dege, W.:** Zur Kulturgeographie des Nördlichen Gudbrandsdals. 1963
17. **Fröhling, M.:** Die Bewässerungslandschaften an der spanischen Mittelmeerküste. 1965
18. **Hambloch, H.:** Der Höhengrenzsäum der Ökumene. 1966
19. **Bronny, H. M.:** Studien zur Entwicklung und Struktur der Wirtschaft in Finnisch-Lappland. 1966
20. **Giese, E.:** Die untere Haseniederung. 1968
21. **Beyer, L.:** Der Siedlungsbereich von Jerzens im Pitztal. 1969
22. **Mayhew, A.:** Zur strukturellen Reform der Landwirtschaft in der BRD, erl. an der Flurbereinigung in der Gem. Moorriem/Wesermarsch. 1970
23. **Stonjek, D.:** Sozialökon. Wandlung und Siedlungslandschaft eines Alpentales (Deferegggen). 1971
24. **Döhrmann, W.:** Bonitierung und Tragfähigkeit eines Alpentales (Deferegggen). 1972
25. **Oldenburg und der Nordwesten.** Dt. Schulgeographentag 1970. Vorträge, Exkursionen, Berichte. 1971
26. **Bahrenberg, G.:** Auftreten und Zugrichtung v. Tiefdruckgebieten in Mitteleuropa. 1973
27. **Giese, E.:** Sovchoz, Kolchoz und persönliche Nebenerwerbswirtschaft in Sowjet-Mittelasien. 1973
28. **Sedláček P.:** Zum Problem intraurbaner Zentralorte – am Beispiel der Stadt Münster. 1973
29. **Treude, E.:** Nordlabrador. Siedlung und Wirtschaft in einem polaren Grenzsäum der Ökumene. 1974
30. **Müller-Wille, L.:** Lappen und Finnen in Utsjoki, Finnland. 1974
31. **Thannheiser, D.:** Vegetationsgeographische Untersuchungen auf der Finnmarksvidda. 1975
32. **Rinschede, G.:** Die Transhumance in den französischen Westalpen und in den Pyrenäen. 1979
33. **Festschrift für Wilhelm Müller-Wille:** Mensch und Erde. Mit 22 Beiträgen. 1976
34. **Werner, J.:** Kraftwerksabwärme in der Hydrosphäre. 1977
35. **Jäger, H.:** Zur Erforschung der mittelalt. Kulturlandschaft. **Müller-Wille, W.:** Gedanken zur Bonitierung und Tragfähigkeit der Erde. **Brand, Fr.:** Geographische Aspekte und Perspektiven zum Thema Mensch – Erde – Kosmos. 1978
36. **Quartärgeologie, Vorgeschichte und Verkehrswasserbau in Westfalen.** 46. Tagg. d. AG Nordwestdt. Geologen in Münster 1979. Mit 19 Beiträgen. 1980
37. **Westfalen – Nordwest-Deutschland – Nordseesektor.** W. Müller-Wille zum 75. Geburtstag. Mit 29 Beiträgen. 1981
38. **Komp. Kl.U.:** Die Seehafenstädte im Weser-Jade-Raum. 1982
39. **Müller-Wille, W.:** Probleme und Ergebnisse geographischer Landesforschung u. Länderkunde. Gesammelte Beiträge 1936 – 1979. Erster Teil. 1983
40. **Müller-Wille, W.:** Probleme und Ergebnisse geographischer Landesforschung u. Länderkunde. Gesammelte Beiträge 1936 – 1979. Zweiter Teil. 1983
41. **Kundenverhalten im System konkurrierender Zentren.** Fallstudien aus dem Großraum Bremen, nördl. Ruhrgebiet u. Lipperland. Mit Beiträgen von H. Heineberg/N.d. Lange u. W. Meschede. 1985
42. **Erträge geographisch-landeskundlicher Forschung in Westfalen.** Festschrift 50 Jahre Geographische Kommission für Westfalen. Mit 34 Beiträgen. 1986
43. **Münster und seine Partnerstädte.** Mit 8 Beiträgen. In Druckvorb.

**WESTFÄLISCHE GEOGRAPHISCHE STUDIEN,
BEIHEFTE**

1. **Kleinn, H.:** Entwurf und Anwendung von Karten. 1970
2. **Haller, B. u. G. Tiggesbäumker:** Die Kartensammlung des Freih. A. v. Haxthausen in der Universitätsbibliothek Münster. 1978

SPIEKER

LANDESKUNDLICHE BEITRÄGE UND BERICHTE

1. **Bertelsmeier, E. u. W. Müller-Wille:** Landeskundlich-stat. Kreisbeschreibung in Westfalen. 1950
2. **Wehdeking, R.:** Die Viehhaltung in Westfalen 1818 – 1948. 1. Folge: West- und Ostmünsterland. **Müller-Wille, W.:** Der Viehstapel in Westfalen. 1950
3. **Schneider, P.:** Natur und Besiedlung der Senne. 1952
4. **Wehdeking, R.:** Die Viehhaltung in Westfalen 1818 – 1948. 2. Folge: Kernmünsterland und Hellwegbörden. **Müller-Wille, W.:** Die Schweinehaltung in Westfalen. 1953
5. **Gorki, H. F.:** Die Grundrisse der städt. Siedlungen in Westfalen. **Timmermann, O.:** Grundriß u. Altersschichten d. Hasestadt Soest. **Steiner, G.:** Funktionales Gefüge d. Großstadt Gelsenkirchen. 1954
6. **Taschenmacher, W.:** Die Böden des Südergebirges. 1955
7. **Lucas, O.:** Die Sauerland-Höhenstraße Hagen-Gießen. **Sommer, R.:** Die Industrie im mittl. Lennetal. 1956
8. **Hoffmann, G.:** Funktionale Bereichsbildung im Raume Emsland-Südoldenburg. **Müller-Wille, W.:** Erreichbarkeit und Einkaufsmöglichkeit. 1957
9. **Stork, Th.:** Das Flußtal der Hönne. **Hambloch, H.:** Naturräume der Emsandebene. **Ringleb, F.:** Das phänol. Jahr in Westfalen. 1958
10. **Böttcher, G.:** Die agrargeographische Struktur Westfalens 1818 – 1950. 1959
11. **Feige, W.:** Talentwicklung und Verkarstung im Kreidegebiet der Alme. **Kleinn, H.:** Die Schledden auf der Haarfläche. 1961
12. **Hempel, L.:** Das Großrelief am Südrand der Westf. Bucht. **Seraphim, E. Th.:** Glaziale Halte im südl. unteren Weserbergländ. **Wölcken, K.:** Regenwetterlagen in Argentinien. 1962
13. **Schäfer, P.:** Die wirtschaftsgeogr. Struktur des Sintfeldes. **Engelhardt, H.G.S.:** Die Hecke im nordwestl. Südergebirge. 1964
14. **Müller-Wille, W.:** Bodenplastik und Naturräume Westfalens. Textband und Kartenband. 1966
15. **Rack, E.:** Besiedlung und Siedlung des Altkreises Norden. 1967
16. **Kluczka, G.:** Zum Problem der zentralen Orte. Wissenschaftsgeschichtl. Entwicklung in Deutschland u. Forschungsstand in Westfalen. 1967
17. **Poeschel, H.-Cl.:** Alte Fernstraßen in der mittl. Westfälischen Bucht. 1968
18. **Ludwig, K.-H.:** Die Hellwegsiedlungen am Ostrand der Dortmunds. 1970
19. **Windhorst, H. W.:** Der Steweder Berg. 1971
20. **Franke, G.:** Bewegung, Schichtung und Gefüge der Bevölkerung im Landkreis Minden. 1972
21. **Hofmann, M.:** Ökotope und ihre Stellung in der Agrarlandschaft. **Werner, J. u. J. Schweter:** Hydrogeograph. Untersuchungen im Einzugsgebiet der Stever. 1973
22. **Hüls, H.:** Heiden in Lippe. Zur Genese und Struktur eines dörflichen Lebensraumes. 1974
23. **Ittermann, R.:** Ländliche Versorgungsbereiche u. zentrale Orte im hess.-westf. Grenzgebiet. 1975
24. **Ballmann, W.:** Der Hafen Oldenburg. **Temnitz, Kl.:** Gestaltanalyse der Stadt Gronau/Westfalen. 1976
25. **Westfalen und Niederdeutschland.** Festschr. 40 Jahre Geographische Kommission für Westfalen. Mit 28 Beiträgen. 1977

Bd. I: Beiträge zur speziellen Landesforschung

Bd. II: Beiträge zur allgemeinen Landesforschung

26. **Der Hochsauerlandkreis im Wandel der Ansprüche.** Vorträge auf der Jahrestagung 1978. Mit 10 Beiträgen. 1979
27. **Müller-Wille, W.:** Beiträge zur Forstgeographie in Westf. 1980
28. **Stadt und Dorf im Kreis Lippe in Landesforschung, Landespflege und Landesplanung.** Vorträge auf der Jahrestagung 1980. Mit 6 Beiträgen. 1981
29. **Becks, Fr.:** Die räumliche Differenzierung der Landwirtschaft in der Westfälischen Bucht. 1983
30. **Westmünsterland – Ostniederlande,** Entwicklung und Stellung eines Grenzraumes. Vorträge auf der Jahrestagung 1983. Mit 6 Beiträgen. 1984
31. **Westfeld, H.:** Kleinwasserkraftwerke im Gebiet der oberen Ems. Nutzung einer vernachlässigten Energiequelle. 1986
32. **Der Raum Dortmund –** Entwicklung, Strukturen und Planungen im östlichen Ruhrgebiet. Vorträge auf der Jahrestagung 1985. In Druckvorb.

SIEDLUNG UND LANDSCHAFT IN WESTFALEN

1. **Müller-Wille, W. u. E. Bertelsmeier:** Der Stadtkreis Münster 1820 – 1955. 1955
2. **Wöhlke, W.:** Die Kulturlandschaft des Hardehauseener und Dalheimer Waldes. 1957
3. **Platt, R. S.:** A Geographical Study of the Dutch-German Border. Dt. von E. Bertelsmeier. 1958
4. **Ringleb, A.:** Dörfer im oberen Weserbergländ. **Hambloch, H.:** Einödgruppe und Drubbel. 1960
5. **Müller-Wille, Mich.:** Die eisenzeitlichen Fluren in den festländischen Nordseegebieten. 1965
6. **Brand, Fr.:** Zur Genese der ländlich-agraren Siedlungen im lipp. Osning-Vorland. 1967
7. **Sönnecken, M.:** Die mittelalterliche Rennfeuerterrassen im märk. Sauerland. 1971
8. **Burrichter, E.:** Die potentielle natürliche Vegetation in der Westf. Bucht. 1973. Nachdruck 1981
9. **Temnitz, Kl.:** Aaseestadt und Neu-Coerde. Bildstrukturen neuer Wohnsiedlungen u. ihre Bewertung. 1975
10. **Lievenbrück, Br.:** Der Nordhümmling. Ländliche Siedlungen im Grenzbereich von Moor und Geest. 1977
11. **Walter, H.-H.:** Padberg. Struktur und Stellung einer Bergsiedlung in Grenzlage. 1979
12. **Flurbereinigung und Kulturlandschaftsentwicklung.** Tagg. des Verbandes dt. Hochschulgöographen. Mit 5 Beiträgen. 1979
13. **Sieverding, W.:** Benstrup und Holtrup – Zur Genese bäuerlicher-trup-Siedlungen in Altwestfalen. 1980
14. **Bertelsmeier, E.:** Bäuerliche Siedlung u. Wirtschaft im Delbrücker Land. 1942. Nachdruck 1982
15. **Nolting, M.:** Der öffentliche Personennahverkehr im nordwestdeutschen Küstenland. 1983
16. **Steinberg, H. G.:** Das Ruhrgebiet im 19. u. 20. Jhd. – Ein Verdichtungsraum im Wandel. 1985
17. **Vegetationsgeographische Studien in Nordrhein-Westfalen.** Wald- u. Siedlungsentwicklung – Bauerngärten – Spontane Flora. Von R. Pott, A. Sternschulte, R. Wittig/E. Rückert. 1985
18. **Siekmann, M.:** Die Struktur der Stadt Münster am Ausgang des 18. Jhdts. – Ein Beitrag zur historisch-topologischen Stadtforschung. In Druckvorb.

19. **Riepenhausen, H.:** Die bäuerliche Siedlung des Ravensberger Landes bis 1770. 1938. Mit Nachtrag von A. Schüttler: Das Ravensberger Land 1770 – 1986. Nachdruck 1986

DIE LANDKREISE IN WESTFALEN

Böhlau-Verlag Münster/Köln

Bearbeitet in der Geographischen Kommission

1. Der Landkreis **Paderborn**. Von G. v. Geldern-Crispendorf. 1953
2. Der Landkreis **Münster**. Von W. Müller-Wille, E. Bertelsmeier, H. F. Gorki, H. Müller. 1955
3. Der Landkreis **Brilon**. Von A. Ringleb. 1957
4. Der Landkreis **Altena**. Von E. Wagner. 1962
5. Der Landkreis **Wiedenbrück**. Von W. Herbort, W. Lenz, I. Heiland, G. Willner. 1969

BODENPLASTIK UND NATURRÄUME WESTFALENS 1:100 000 IM FÜNFARBENDRUCK

1. Blatt Kreis Paderborn (1953), 2. Blatt Kreis Münster (1953), 3. Blatt Kreis Brilon (1957), 4. Blatt Kreis Altena (1962), 5. Blatt Kreis Wiedenbrück (1968)

GEOGRAPHISCH-LANDESKUNDLICHER ATLAS VON WESTFALEN

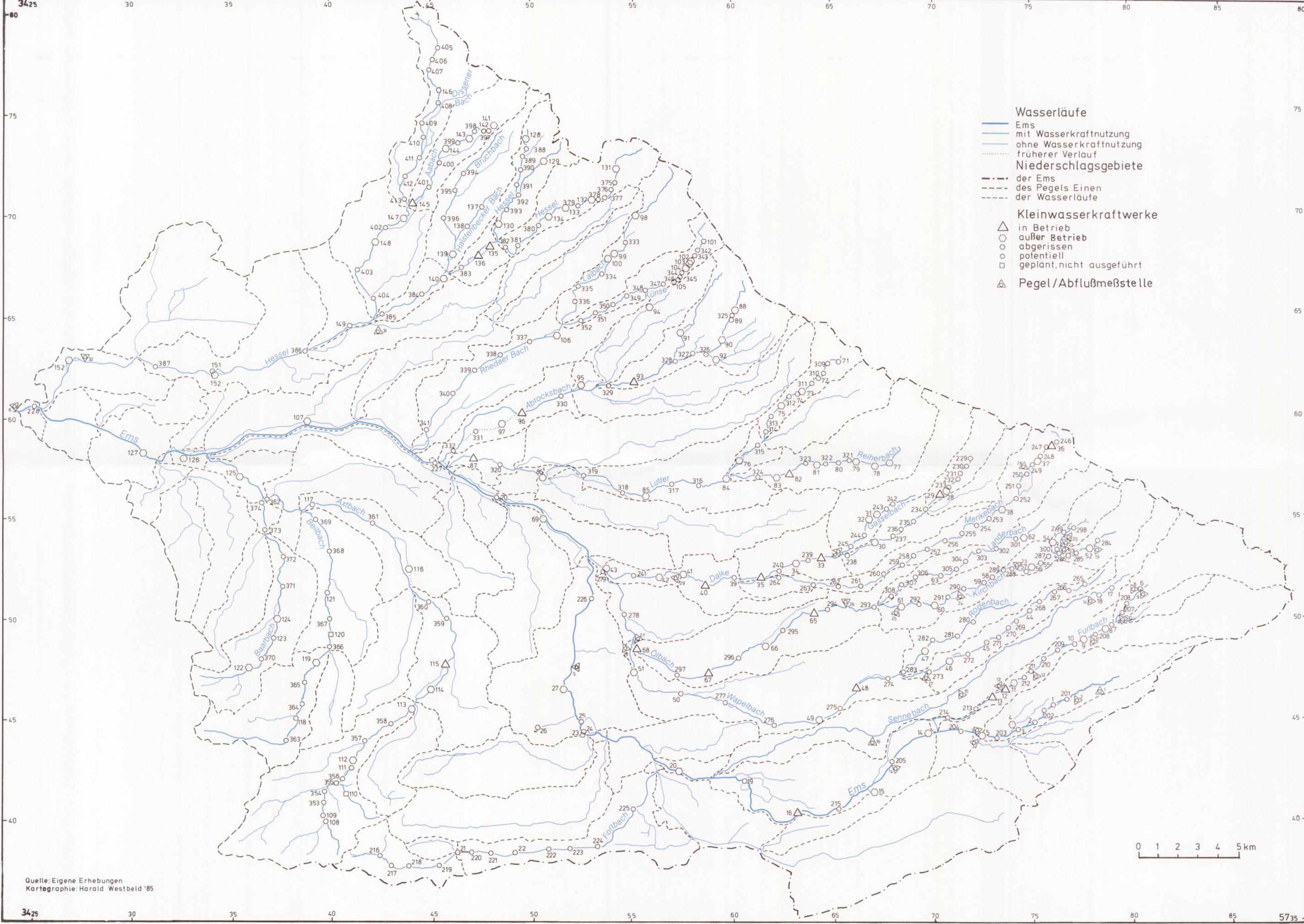
Ca. 100 Doppelblätter und Begleittexte aus 10 Themenbereichen. 1985 ff

1. Lieferung 1985, 4 Doppelblätter:

1. **Relief** (Themenbereich 2: Landesnatur) Von W. Müller-Wille (Entwurf) u. E.Th. Seraphim (Text)
2. **Spät- und nacheiszeitliche Ablagerungen/Vegetationsentwicklung** (Themenbereich 2: Landesnatur). Von E.Th. Seraphim u. E. Kramm (Entwurf u. Text)
3. **Florenelemente** (Themenbereich 2: Landesnatur). Von Fr. Runge (Entwurf u. Text)
4. **Fremdenverkehr-Angebotsstruktur** (Themenbereich 9: Fremdenverkehr u. Erholung). Von P. Schnell (Entwurf u. Text)

2. Lieferung 1986, 5 Doppelblätter:

1. **Begriff und Raum** (Themenbereich 1: „Westfalen“). Von W. Müller-Wille, K. Temnitz, W. Winkelmann, G. Müller (Entwurf) u. W. Kohl (Text)
2. **Niederschläge in raum-zeitlicher Verteilung** (Themenbereich 2: Landesnatur). Von E. Müller-Temme (Entwurf u. Text) u. W. Müller-Wille (Entwurf)
3. **Pflanzenwachstum und Klimafaktoren** (Themenbereich 2: Landesnatur). Von Fr. Ringleb, J. Werner (Entwurf u. Text) u. P. Hofste (Entwurf)
4. **Verbreitung wildlebender Tierarten** (Themenbereich 2: Landesnatur). Von R. Feldmann, W. Stichmann (Entwurf u. Text) u. M. Berger, W. Grooten (Entwurf)
5. **Fremdenverkehr – Nachfragestruktur** (Themenbereich 9: Fremdenverkehr u. Erholung). Von P. Schnell (Entwurf u. Text)
6. **Verwaltungsgrenzen** (Transparentfolie)



Quelle: Eigene Erhebungen
Kartographie: Harald Westfeld '85

Abb. 32: Bestehende, ehemalige und potentielle Kleinwasserkraftwerke im Gebiet der oberen Ems.