

Grüne Ausbaustudie 2020

Perspektiven für Erneuerbare Energien in Sachsen

Ermittlung der technischen Potenziale der erneuerbaren Energieträger in Sachsen sowie deren wirtschaftliche Umsetzungsmöglichkeiten für die Stromerzeugung bis zum Jahr 2020



Vereinigung zur Förderung der Nutzung Erneuerbarer Energien /
VEE SACHSEN e.V.

im Auftrag der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Sächsischen Landtag

Aktualisiertes Vorwort

Für die Veröffentlichung dieser im Dezember 2008 vorgelegten Studie hat die Landtagsfraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN sehr viel Zuspruch erhalten. Erstmals ist vor einer breiteren Öffentlichkeit der Nachweis erbracht worden, dass eine Versorgung Sachsens durch Energie aus erneuerbaren Quellen nicht ein ferner Zukunftstraum ist, sondern auf die Tagesordnung in Sachsen gehört, wenn nur der politische Wille dazu da ist.

Die Landtagsfraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN verstand sich als Auftraggeberin der Studie. Nicht alle Inhalte sind deckungsgleich mit den politischen Zielen der Fraktion.

So benannten und benennen wir in unseren Anträgen und politischen Äußerungen keine Ausbauziele für die Wasserkraft in Sachsen. Das ist eine Entscheidung für den Natur- und Artenschutz. Der Anteil, den die kleine Wasserkraft in Sachsen zur Energieerzeugung beisteuern kann, ist ohnehin nur gering. Eine Verbauung der kleinen und der großen Flüsse, etwa der Elbe, lehnen wir ab.

Wir bitten freundlichst, dies zur Kenntnis zu nehmen und zu respektieren.

Auch in der Wahlperiode 2009 – 2014 wird die Landtagsfraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN weiter engagiert an den Themen Energiesparen, Energieeffizienz und Erneuerbare Energien arbeiten. Und dazu laden wir auch Sie ein, z.B. zum Sächsischen Klimakongress, immer am 1. Samstag im Dezember in Dresden.



Antje Hermenau

Fraktionsvorsitzende
Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Sächsischen Landtag



Johannes Lichdi

klima-, energie- und naturschutzpolitischer Sprecher
Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Sächsischen Landtag



Gisela Kallenbach

umweltpolitische Sprecherin
Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Sächsischen Landtag



Antje Hermenau



Johannes Lichdi



Gisela Kallenbach

Vorwort

Der Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland ist eine der faszinierendsten Erfolgsgeschichten GRÜNER Politik. 2007 wurden schon 14 Prozent des Stromes von Erneuerbaren Energien bereitgestellt. Und die Windenergie drückt bereits jetzt den Strompreis an der Börse! Diese Erfolge wurden durch die seit Jahrzehnten engagierten Enthusiasten für die Erneuerbaren Energien und viele mutige Unternehmerinnen und Unternehmer erreicht. Ihnen sind wir zuerst zu Dank verpflichtet.

Ein Haupteinwand gegen die Erneuerbaren Energien lautete bisher, dass mit ihnen eine vollständige Energieversorgung nicht möglich wäre. Wir treten für Sachsen mit dieser Studie den Gegenbeweis an. Wir wollen die dringend notwendige öffentliche Debatte über die erforderlichen Ausbauziele entfachen, die die Staatsregierung bewusst klein hält.

Diese von der „Vereinigung zur Förderung der Nutzung Erneuerbarer Energien / VEE SACHSEN e. V.“ unter Federführung von Herrn Dipl. Ing. Hans-Jürgen Schlegel erarbeitete Studie zeigt, dass die Sächsischen und Sachsen bereits im Jahr 2020 82 Prozent ihres gegenwärtigen Stromverbrauchs aus Erneuerbaren Energien werden bestreiten können. Windenergie, Photovoltaik sowie Biomasse und Biogas tragen jeweils zu ungefähr einem Drittel dazu bei.

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass Windenergieanlagen nur 0,5 Prozent und Photovoltaikanlagen nur 0,8 Prozent (einschließlich Dächer und Fassaden) der Landesfläche in Anspruch nehmen würden. Wir verkennen die Belange des Natur- und Landschaftsschutzes keinesfalls, sind aber überzeugt, dass der Aufbau einer erneuerbaren Energieversorgung und Naturschutz keine Gegensätze sind und nicht gegeneinander ausgespielt werden können.

Die Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN bekennt sich zum Ziel, bis zur Mitte des Jahrhunderts Sachsen zu 100 Prozent mit Erneuerbaren Energien zu versorgen. Dies ist ein unabweisbares Gebot des Klimaschutzes, der globalen Gerechtigkeit und der Versorgungssicherheit. Die Umsetzung dieses Ziels steigert dauerhaft die Wertschöpfung und die Wirtschaftskraft Sachsens. Wir werden daher die Vorschläge der Studie der VEE sorgfältig prüfen und in unsere Arbeit im Sächsischen Landtag einbeziehen.

Wir wissen, dass die Erneuerbaren Energien starke Gegner haben, gerade hier in Sachsen. Die Fortführung der klimaschädlichsten und



Antje Hermenau



Johannes Lichdl

ineffizientesten Form der Stromerzeugung, nämlich die Kohleverstromung, ist immer noch Ziel der angeblichen Klimaschützer von CDU und SPD in Berlin und Dresden. Wer aber die Vollversorgung aus Erneuerbaren Energien will, der kommt um den Braunkohleausstieg nicht herum. Denn zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen muss der Anteil der Erneuerbaren Energien am Strom-Mix steil ansteigen und dem dreckigen Braunkohlestrom schnell Anteile abnehmen.

Schon für die nächste Handelsperiode für CO₂-Emissionszertifikate ab 2012 ist die Abschaffung der Privilegierung der Braunkohle zu erwarten. Kohlekraftwerke werden sich dann bald nicht mehr rechnen. Ihr Aus im nächsten Jahrzehnt rückt damit aus ökonomischen wie Klimaschutzpolitischen Gründen unweigerlich näher und ist Ziel GRÜNER Politik.

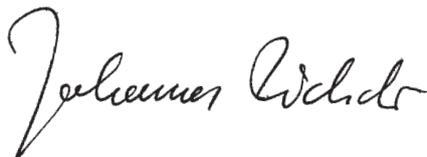
Wir wollen ein starkes Energieland Sachsen! Soll Sachsen aber Energieland bleiben, muss es jetzt voll auf die Erneuerbaren Energien setzen. Schon heute arbeiten mehr als dreimal soviel Menschen in der Branche der Erneuerbaren Energien wie in der Braunkohle. Sächsische Unternehmen sind heute Weltmarktführer. Doch wir müssen uns anstrengen, wenn wir unsere Position halten und ausbauen wollen. Gerade in Zeiten einer drohenden Rezession gilt es, auf die Technologien der Zukunft zu setzen und in sie zu investieren. Ist eine Branche erfolgreich, muss man nachlegen und darf nicht abbremsen.

Wir sind dazu bereit.



Antje Hermenau

Vorsitzende der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN
im Sächsischen Landtag



Johannes Lichdi

Energiepolitischer Sprecher der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN
im Sächsischen Landtag



**„Ermittlung der technischen Potenziale
der erneuerbaren Energieträger in Sachsen
sowie deren wirtschaftliche Umsetzungsmöglichkeiten
für die Stromerzeugung bis zum Jahr 2020“**

Auftraggeber: BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN
Fraktion im Sächsischen Landtag
Bernhard-von-Lindenau-Platz 1
01067 Dresden

Auftragnehmer: Vereinigung zur Förderung der Nutzung Erneuerbarer Energien
VEE Sachsen e.V.
Schützengasse 16
01067 Dresden
www.vee-sachsen.de
Tel.: 0351 - 4943 347
info@vee-sachsen.de

VR 2727, Amtsgericht Dresden
Präsident: Dr. Wolfgang Daniels

Bearbeiter: Wolfgang Daniels, Hans-Peter Grafe, Antje Koppen,
Eckhard Kreibich, Uwe Mixdorf, Hans-Jürgen Schlegel,
Peter Volkmer, Volkmar Weise, Dieter Winkler, Gerd Wolf

Dresden, November 2008

Autorenübersicht

Dr. rer. nat. Wolfgang Daniels Sachsenkraft GmbH Dresden	Abschn.: 3.7
Dipl.-Ing. Hans-Peter Grafe IGUS GmbH Dresden Ingenieurgemeinschaft Umweltschutz Mess- und Verfahrenstechnik	Abschn.: 3.3.4
Dipl.-Ing. Antje Koppen IGUS GmbH Dresden Ingenieurgemeinschaft Umweltschutz Mess- und Verfahrenstechnik	Abschn.: 3.3.4
Dr. rer. nat. Eckhard Kreibich VEE Sachsen e. V. Dresden	Abschn.: 3.4
Dr. rer. silv. Uwe Mixdorf TU Dresden	Abschn.: 3.3.1 -3.3.3
FSD Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Schlegel (federführend) Referent Klimaschutz a. D. Döbeln	Abschn.: 1.; 2.; 3.1; 3.2.8; 3.2.9; 3.2.11.1; 3.2.12; 3.3.4.2; 3.3.4.5; 3.7; 4.
Dr. rer. nat. Peter Volkmer IGUS GmbH Dresden Ingenieurgemeinschaft Umweltschutz Mess- und Verfahrenstechnik	Abschn.: 3.3.4
Prof. Dr.-Ing. habil. Volkmar Weise Hochschule Zittau/Görlitz	Abschn.: 3.6; 3.7
Dipl.-Ing. Dieter Winkler Solarwatt AG Dresden	Abschn.: 3.2
Dipl.-Geophys. Gerd Wolf UTAB GmbH Büro Leipzig	Abschn.: 3.5

Gliederung

Autorenübersicht	2
Gliederung	3
Abkürzungsverzeichnis	5
1. Vorwort der Autoren	8
2. Klimawandel und Umbau der Energieversorgung	9
2.1 Klimawandel, Klimafolgen	9
2.2 Klimaschutzstrategien	12
2.2.1 Erneuerbarer Energien	12
2.2.2 Energieeffizienz	14
3. Nutzung Erneuerbarer Energien in Sachsen	15
3.1 Windenergienutzung	15
3.1.1 Ausgangssituation und kurzer historischer Abriss	15
3.1.2 Nutzungsstand 2007/2008	16
3.1.3 Technisch-realistisches Windenergiepotenzial	19
3.1.4 Potenzialbewertung aus aktueller Sicht	20
3.1.5 Umsetzungsmöglichkeiten für das technisch-realistische Potenzial	25
3.1.6 Mittelfristige Umsetzung bis 2012	31
3.1.7 Repowering von Windenergieanlagen	31
3.1.8 Längerfristige Umsetzung bis 2020	34
3.1.9 Ergebnisbewertung und Zusammenfassung	35
3.2 Solarenergienutzung	38
3.2.1 Historie - Sächsische Pioniere der Photovoltaik	38
3.2.2 Stromeinspeisegesetz und 1.000-Dächer-Programm	39
3.2.3 Kostendeckende Vergütung (KV) – Aachener Modell	40
3.2.4 100.000 - Dächer-Programm	40
3.2.5 Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG)	41
3.2.6. Vergleich in Europa – aktueller Stand 2008	41
3.2.7 Photovoltaik in Sachsen – aktueller Stand 2008	42
3.2.7.1 Die sächsische Photovoltaik als Teil des Solarvalley Mitteldeutschland	42
3.2.7.2 PV-Industrie	43
3.2.7.3 PV-Forschung	47
3.2.8 Voraussetzung für solare Nutzung	48
3.2.9 PV-Anlagen	50
3.2.10 PV-Anteil am Elektroenergieverbrauch 2008	57
3.2.11 PV-Entwicklung in Sachsen bis 2020	57
3.2.11.1 Einschätzung des technisch-realistischen Solarpotenzials	57
3.2.11.2 Methoden zur Ermittlung von relevanten PV-Dachflächen	63
3.2.11.3 Konkurrenz zwischen Photovoltaik und Solarthermie	64
3.2.12 Einschätzung der PV-Entwicklung bis 2020	65

3.3	Biomasseenergienutzung	70
3.3.1	Übersicht feste Biomasseenergie	70
3.3.2	Biomassepotenziale (feste Energieträger)	71
3.3.2.1	Theoretisches Potenzial	71
3.3.2.2	Technisches Potenzial feste Biomasse	71
3.3.2.3	Verwertung des tatsächlich genutzten Biomassepotenzials	76
3.3.3	Abschätzung der Potenzialentwicklung feste Biomasse bis 2020	85
3.3.4	Biogasnutzung	93
3.3.4.1	Übersicht Biogas	93
3.3.4.2	Potenzialabschätzung für 2007	95
3.3.4.3	Potenzialabschätzung für 2020	103
3.3.4.4	Potenzialvergleich	105
3.3.4.5	Ergebnisbewertung und Zusammenfassung	108
3.4	Wasserkraftnutzung	110
3.4.1	Kurzer historischer Abriss der Wasserkraftnutzung	110
3.4.2	Sächsische Flussgebiete und Niederschlag	111
3.4.3	Anteil des Wasserkraftstromes am Stromverbrauch	116
3.4.4	Wasserkraftanlagen und Abschätzung des Wasserkraftpotenzials	116
3.4.4.1	Potenzialabschätzung nach der Literatur	116
3.4.4.2	Datenmaterial und untersuchte Größen	116
3.4.4.3	Potenzial – alle Flussgebiete	118
3.4.4.4	Potenzial – Flussgebiet - Mulde / Weiße Elster	120
3.4.4.5	Potenzial – Flussgebiet - Elbegebiet	123
3.4.4.6	Potenzial – Flussgebiet - Neiße / Schwarze Elster	124
3.4.5	Interessenkonflikte und Argumentationen	126
3.4.6	Ergebnisbewertung und Zusammenfassung	131
3.5	Geothermienutzung	134
3.6	Kombination erneuerbarer Energieträger	136
3.7	Politische und bürokratische Hemmnisse	139
4.	Zusammenfassung und Darstellung der Gesamtergebnisse	142
5.	Literaturverzeichnis	144

Abkürzungsverzeichnis

A -	Fläche
A_{Dach} -	Dachfläche
A_{Frei} -	Freifläche
A_{Fas} -	Fassadenfläche
A_{PV} -	PV-Fläche Deutschland
A_{PVNutz} -	PV-Nutzfläche
A_{Rotor} -	Rotorfläche
A_{SN} -	Fläche Sachsen
$A_{\text{WEA ges}}$ -	Gesamtfläche für Windenergieanlagen
a -	Hellmann-Koeffizient
a_{Eis} -	Kantenlänge Eiswürfel
a_{P} -	leistungsbezogener Flächenbedarf
BGA -	Biogasanlage
BHKW -	Blockheizkraftwerk
BM -	Bürgermeister
BMU -	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BRB -	Land Brandenburg
BSW -	Bundesverband Solarwirtschaft e. V.
CO_2 -	Kohlendioxid
CH_4 -	Methan
DGS -	Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e. V.
d_{Wind} -	Windstromdurchmesser (= Rotordurchmesser)
ΔE -	Energiedifferenz
$\Delta E_{\text{Rep netto}}$ -	Differenzenergieertrag durch Repowering netto
E -	Energie/Strom
EE -	Erneuerbare Energien
EEG -	Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien Erneuerbare Energien Gesetz
Efm -	Erntefestmeter in m^3
Efm o. R. -	Erntefestmeter ohne Rinde in m^3
ENSO -	Energieversorgung Sachsen Ost AG - Netzbetreiber
EnBW -	EnBW Energie Baden-Württemberg AG - Übertragungsnetzbetreiber
E.ON -	E.ON AG - Übertragungsnetzbetreiber
EPIA -	European Photovoltaik Industry Association
E_{Alt} -	Energie-/Stromertrag Altanlagen
E_a -	Energieertrag Jahr
E_D -	Energieertrag Deutschland
E_{diff} -	Stromertragsdifferenz
E_{Rep} -	Energie-/Stromertrag Repowering
$E_{\text{Verbrauch}}$ -	Energieverbrauch/Stromverbrauch
$E_{\text{WEA pot}}$ -	Energie-/Stromertrag potenziell
el -	elektrisch
e_D -	bezogener Energieertrag Deutschland
e_{Fa} -	bezogener Energieertrag Fassade
η -	Wirkungsgrad
f (NH) -	Funktion der Nabenhöhe
f_{CO_2} -	CO_2 -Faktor
f_{Fa} -	Fassadenfaktor

Fortsetzung

f_{FrDa} -	Freiflächen- und Dachfaktor
f_{HN} -	Faktor Nabenhöhe
f_{RD} -	Faktor Rotordurchmesser
G -	Globalstrahlung
GV -	Gemeindeverwaltung
GV -	Großvieheinheit
GWh -	Gigawattstunde
GWh/a -	Gigawattstunde pro Jahr
HKW -	Heizkraftwerk
ha -	Hektar
h_{ges} -	Gesamthöhe
h_{NH} -	Höhe auf Nabenhöhe bezogen
KfW -	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KV -	Kostendeckende Vergütung
KW -	Kraftwerk
KUP -	Kurzumtriebsplantage
K_{inv} -	Investkosten
km^2 -	Quadratkilometer
km^3 -	Kubikkilometer
k_{System} -	Systemkosten
k_{Verg} -	Stromeinspeisevergütung nach EEG
$k_{WEA, kW}$ -	Nennleistungsbezogene Kosten
kt -	Kilotonne
kW -	Kilowatt
kW_p -	Kilowatt peak – (definierte Spitzenleistung)
kWh -	Kilowattstunde
LfUG -	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
L -	Landkreis Leipzig
LD -	Landesdirektion
LRA -	Landratsamt
MdB -	Mitglied des Bundestages
mHN -	Höhennormal
MJ -	Megajoule
Mio. t -	Milliontonne
MNQ -	mittlerer Niedrigwasserabfluss
MQ -	mittlerer Wasserabfluss
MW -	Megawatt
MWh -	Megawattstunden
MWh/a -	Megawattstunden pro Jahr
m_{Luft} -	Masse der Luft
NH -	Nabenhöhe
Nm^3 -	Normkubikmeter
N_2O -	Lachgas
n -	Anzahl
n_{ab} -	Abstand Windenergieanlage zur Wohnbebauung
n_{Σ} -	Summierte Anzahl
P -	Leistung
PJ -	Petajoule

Fortsetzung

PV -	Photovoltaik
$P_{el\ res}$ -	Reserveleistung
P_N -	Nennleistung
$P_{N\ erf}$ -	Nennleistung erforderlich
$P_{N\ ges}$ -	Gesamtnennleistung
P_{Rep} -	Repoweringleistung
P_{Σ} -	Summierte Leistung
P_{WEA} -	Windleistung
Q -	Wärmeenergie
RD -	Regierungsdirektion
RD -	Rotordurchmesser
RPS -	Regionale Planungsstelle
RPV -	Regionaler Planungsverband
RPV OE-OE	Regionaler Planungsverband Oberes Elbtal-Osterzgebirge
RWE -	RWE AG - Übertragungsnetzbetreiber
R_{prim} -	Referenzanlage primär
R_{sek} -	Referenzanlage sekundär
SFV -	Solarenergie-Förderverein e. V.
SMUL -	Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
SMWA -	Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit
SN -	Sachsen
StaLA	Statistisches Landesamt Sachsen
StV -	Stadtverwaltung
TASi -	Technische Anleitung Siedlungsabfall
THG -	Treibhausgas
TM -	Trockenmasse
t -	Tonne
th -	thermisch
t_a -	Volllaststunde
t_{atro} -	Tonne absolut trocken
t_{lutro} -	Tonne lufttrocken
$t_{FM/a}$ -	Tonne Festmasse pro Jahr
$t_{TS/a}$ -	Tonne Trockensubstanz pro Jahr
V _{fm} -	Vorratsfestmeter in m ³
VRG/EG -	Vorrang-/Eignungsgebiet
v_m -	mittlere Windgeschwindigkeit
v_{mj} -	mittlere Jahreswindgeschwindigkeit
v_{NH} -	Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe
v_{10} -	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe
v_{Wind} -	Windgeschwindigkeit
WEA -	Windenergieanlage
WEA/WP -	Windenergieanlage/Windpark
WKA -	Wasserkraftanlage
WP -	Windpark

1. Vorwort der Autoren

Die Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Sächsischen Landtag hat diese Studie zur Ermittlung, bzw. Präzisierung der technisch-wirtschaftlichen Potenziale erneuerbarer Energieträger in Sachsen mit dem Ziel der Umsetzbarkeit bis 2020 bei der Vereinigung zur Förderung der Nutzung Erneuerbarer Energien in Sachsen (VEE Sachsen e. V.) in Auftrag gegeben.

Ausgangspunkt sind die Negativfolgen des sich immer schneller vollziehenden und überwiegend durch den Menschen verursachten globalen Klimawandels, wie dieser im IPCC-Bericht 2007 der UNO /3/ erstmals wissenschaftlich unanfechtbar belegt werden konnte. Noch handelt es sich um eine aufhaltsame Katastrophe, wenn schnellstens die Emissionen der Treibhausgase in die Atmosphäre, allen voran CO₂, drastisch zurückgefahren werden. Mit „Klimaschutz“ wird die Strategie benannt, die Schlimmeres verhindern hilft.

Die heutige, vorwiegend auf fossilen Energieträgern (Kohlen, Erdöl, Erdgas) basierte Energieversorgung muss in kürzester Zeit auf eine treibhausgasfreie, bzw. treibhausgasarme Versorgung umgestellt werden. Die Energieträger Sonne, Wind, Wasser, Biomasse und Erdwärme stehen praktisch in unbegrenzter Menge zur Verfügung, da sie sich nicht, wie die fossilen Energieträger während der Umwandlung „verbrauchen“, sondern immer wieder „erneuern“. Erneuerbare Energieträger stehen auch in Sachsen in ausreichender Quantität und Qualität zur Verfügung. Allerdings müssen für deren Nutzung politische und technologische Voraussetzungen geschaffen werden.

Mit der Verabschiedung der „Klimaschutzpakete I und II“ durch den deutschen Bundestag, einschließlich ihrer Bestätigung durch den Bundesrat, sind die Weichen in der Bundesrepublik Deutschland bis 2020 gestellt. Bis zu diesem Zeitpunkt soll der Stromanteil aus erneuerbaren Energieträgern am Gesamtstromverbrauch mindestens 30 % betragen.

Die Autoren dieser Studie untersuchen, inwieweit es in Sachsen möglich ist, diese bundesgesetzliche Vorgabe zu erfüllen. Über die Potenziale Erneuerbarer Energien und ihren Nutzungsstand, stehen Daten zur Verfügung, die im ehemaligen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) im Energieeffizienzcenter, später Klimareferat zusammengetragen, bearbeitet und bewertet wurden.

Diese LfUG-Daten finden Eingang in die vorliegende Studie. Die Autoren haben sich um die Aktualisierung der Daten bemüht und zu diesem Zweck umfangreiche telefonische sowie persönliche Befragungen bei Ingenieurbüros, Investoren, Anlagenbetreibern, etc. durchgeführt. Gleichfalls gingen eigene Forschungsergebnisse und Praxiserfahrungen ein. All denen, die bereitwillig und gern diese Arbeit mit ihren Fachinformationen unterstützt haben, gilt der herzliche Dank der Autoren.

In der Studie konnte aus Kapazitätsgründen die Strategiesäule „Energieeffizienz“ leider nicht bearbeitet werden.

Die Studie steht unter dem Tenor **„Lokal handeln – Global denken und verändern!“**

2. Klimawandel und Umbau der Energieversorgung

2.1 Klimawandel, Klimafolgen

Mit Beginn der 1. Industriellen (technischen) Revolution /12/ ab etwa 1770 in England und ab etwa 1850 im übrigen Europa, darunter auch in Deutschland, wurden die Produktionsbedingungen soweit verändert, dass Gebrauchsgüter des täglichen Lebens erstmalig nicht von spezialisierten Handwerkern, sondern industriell in Fabriken hergestellt werden konnten. Die neuen Produktionsbedingungen verlangten einen bis dahin ungekannten Energiebedarf. Dieser konnte nicht mehr mit den traditionellen natürlichen Energieträgern gedeckt werden. Anstelle der bisherigen Energieträger Holz, Torf, etc. kamen Steinkohle, Braunkohle, später Erdöl und Erdgas zum Einsatz. Die Energiewirtschaft wurde so das Rückgrat der gesamten wirtschaftlichen Entwicklung und erreichte in den westlichen Industrieländern nach und nach einen hohen technologischen Stand zur Verbesserung der Lebensbedingungen der Menschen.

*„Der britische Wirtschaftshistoriker **Angus Maddison** hat kürzlich berechnet, dass sich das gesamte Bruttoinlandsprodukt der westlichen Industrienationen, die Summe aller produzierten Waren und Dienstleistungen eines Landes, zwischen 1820 und 1980 um den Faktor 59 erhöht hat – während gleichzeitig das BIP der gesamten übrigen Welt nur um den Faktor 29 wuchs.“ /12/*

Lange Zeit war nicht klar, welchen Preis die Menschheit für den von ihr selbst gewollten Fortschritt bezahlen müsste. Die Verbrennung der fossilen Energieträger spendete elektrischen Strom und Wärme. Allerdings wurden dabei Treibhausgase, wie CO₂, CH₄, N₂O u. a. in die Atmosphäre emittiert. Wirkung und Gefährlichkeit waren damals nicht bekannt und wurden nur von wenigen Wissenschaftlern (*Fourier 1824!; Tyndall 1860 ff.; Arrhenius 1896*) /8/ vermutet sowie berechnet. Insbesondere die Berechnungen des schwedischen Chemikers *Arrhenius* konnten nachweisen, dass CO₂-Emissionen zur Verstärkung des Treibhauseffektes und damit zur Temperaturerhöhung führten. Er kam aber zu dem Ergebnis, dass die Menschheit gar nicht in der Lage sei, solch großen Mengen CO₂ in die Atmosphäre zu emittieren, dass es zu globalen Klimaänderungen kommen könnte. Ein schwerwiegender Irrtum, wie sich Jahrzehnte später herausstellte, der aber keinesfalls den (falschen) Schlussfolgerungen *Arrhenius'* geschuldet ist.

An der globalen Klimaerwärmung gibt es aus wissenschaftlicher Sicht keinen Zweifel mehr. Im 4. IPCC-Bericht vom Februar 2007 heißt es dazu:

„Die Klimaerwärmung ist eine Tatsache und unbestreitbar, wie der weltweite Anstieg der mittleren Luft- und Ozeantemperaturen, das großflächige Abschmelzen von Schnee und Eis sowie der weltweit steigende Meeresspiegel belegen.“

Noch gibt es Streit, initiiert von den „Klimaskeptikern“ und „Klimaleugnern“, **welche** Ursachen hinter den Klimaänderungen stehen. Diese Gruppe vertritt die Meinung, dass die heutigen Klimaänderungen genau in das Bild des sich seit Jahrtausenden vollziehenden „Auf und Abs“ im Klimageschehen passen. Die Schwankungen seien natürlicher Art und der Mensch könne sowieso nicht das Klima beeinflussen, deshalb scheidet er auch als Verursacher aus. Unter den Klimaforschern herrscht ein unerwartet klarer Konsens, wie Recherchen in /5/ belegen. Von **928** ausgewerteten Fachartikeln, die in den letzten Jahren zum Klimawandel in Fachzeitschriften veröffentlicht wurden, gab es nicht bei einem einzigen Zweifel am anthropogen verursachten Klimawandel.

Ganz anders in der Tagespresse: Bei **636** ausgewerteten Artikeln wurden in **53 %** der Fälle Zweifel an den Gründen für die Erderwärmung geäußert.

Die Beweise, dass der Mensch den Klimawandel verursacht, sind erdrückend. Der bereits genannte 4. IPCC-Bericht der UN von 2007 hat erstmalig die wissenschaftlich begründete Bestätigung für den anthropogen verursachten Klimawandel geliefert. In der nachfolgend aufgeführten Literatur /2/, /3/, /4/, /5/, /6/, /7/, /8/, und diese stellt nur eine kleine Auswahl dar, befassen sich führende Klimaforscher ausführlich mit Ursachen und Folgen des Klimawandels. Klimawandel verursacht (noch) keine Schmerzen, trotzdem sind die Signale unübersehbar. Um den Ernst der Lage zu erkennen; hier ein Zitat aus dem IPCC-Weltklimabericht, Teil 2 (*Döbelner Anzeiger* 02.04.2007):

*„... Das Leben auf der Erde befindet sich infolge des Klimawandels auf einer „Auto-**bahn zur Auslöschung**“, allerdings gibt es darauf noch Abfahrten“*

Abb. 2.1-1 zeigt die strukturellen Zusammenhänge zwischen Klimawandel, den daraus resultierenden Klimafolgen sowie den Gegenstrategien Klimaschutz und Klimawandelanpassung.

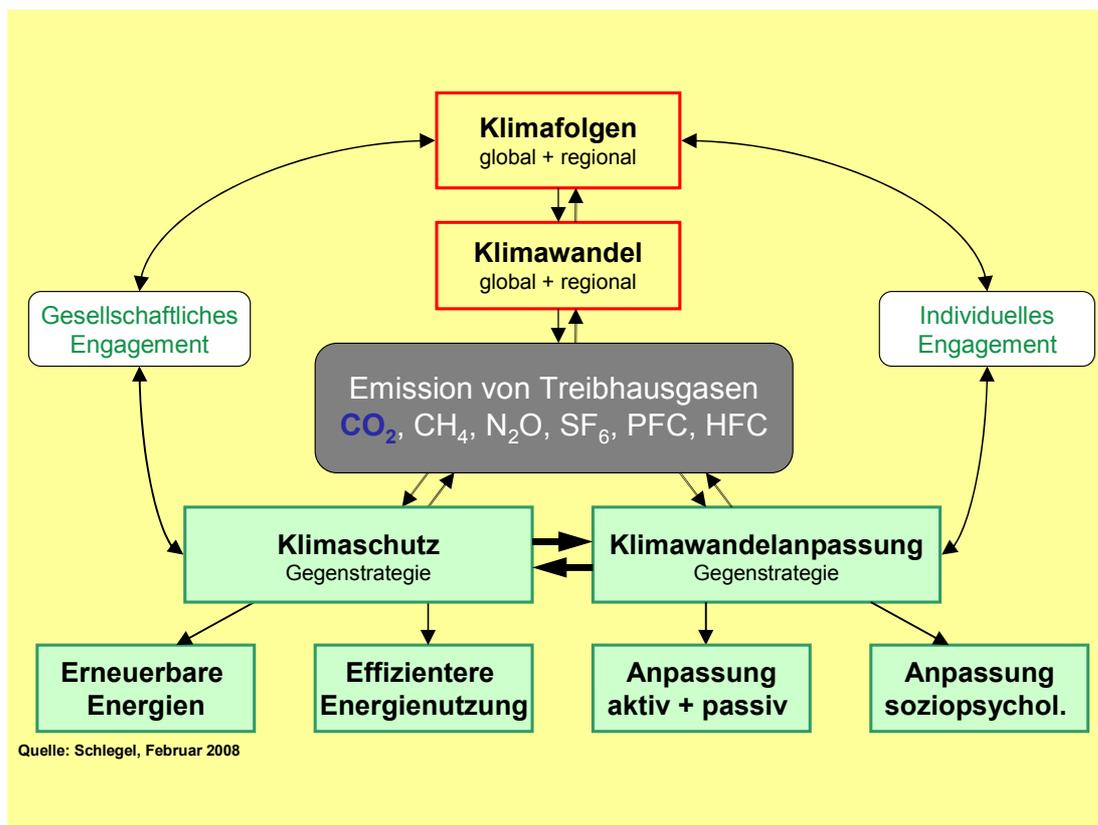


Abb. 2.1-1: Strukturübersicht Klimawandel, Klimafolgen, Klimaschutz

Klimaänderungen ziehen in den meisten Fällen negative Klimafolgen nach sich, wie Eis- und Gletscherschmelze, Meeresspiegelanstieg, Trockenheit und Dürreperioden, Hochwasser, Stürme und andere extreme Wettersituationen. Die Klimafolgen sind weltweit zu beobachten und haben dramatische Ausmaße erreicht. So wurde im 3. Arktisbericht 2008 (*Döbelner Anzeiger* 18./19.10.2008), der von 46 internationalen Klimaforschern verfasst wurde, festgestellt, dass das arktische Meereis im Sommer stark abschmilzt.

Die Jahre 2007 und 2008 stellen seit dem Beginn der Aufzeichnungen absolute Negativrekorde auf. 2007 war die „Nordwestpassage“ erstmalig eisfrei; 2008 waren ab 25.08.2008 die „Nordwestpassage“ und die „Nordostpassage“ (in Russland als nördlicher Seeweg bekannt) gleichzeitig eisfrei. Bereits am 09.10.2008 (Presse, Fernsehen, Rundfunk) informierte *Prof. Schellnhuber*, Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK), dass der Klimawandel schneller voran schreitet als befürchtet und der Meeresspiegel in diesem Jahrhundert voraussichtlich um einen Meter ansteigen wird. Auch das Grönlandeis verliert in den Sommermonaten ständig an Volumen. So wurde 2007 ein Eisverlust von rund **101 km³** gemessen.

Zur Veranschaulichung:

Dieses abgeschmolzene Eisvolumen repräsentiert einen Eiswürfel mit der Kantenlänge

$$a_{\text{Eis}} \approx 4.656 \text{ m}$$

Auch Sachsen bleibt von den Klimaänderungen nicht verschont. Mit dem Klimaatlas Sachsen /1/, erarbeitet von Klimaforschern der TU Dresden und des LfUG, wurde die Klimaentwicklung der letzten Jahrzehnte von 1961 bis 2005 (teilweise noch längere Zeiträume) in beispielgebender Art dargestellt. Entscheidend wird jetzt sein, welche Schlussfolgerungen die politisch Verantwortlichen aus den wissenschaftlichen Ergebnissen ziehen und welche Weichenstellung für die Zukunft erfolgt.

In Anbetracht der weiter fortschreitenden überwiegend anthropogen verursachten Klimaerwärmung mit existenziell bedrohenden Auswirkungen im globalen und regionalen Maßstab müssen die Emissionen der wichtigsten Treibhausgase (THG), wie CO₂, CH₄ und N₂O, innerhalb der nächsten Jahre weltweit drastisch verringert werden. Die EU und die deutsche Bundesregierung haben auf die Bedrohungen durch den Klimawandel reagiert und die Weichen für eine solche notwendige drastische THG-Ab-senkung gestellt. Im Sommer 2008 verabschiedete der Deutsche Bundestag die sogenannten „**Klimaschutzpakete I und II**“. Sie beinhalten Maßnahmenvorschläge zum Klimaschutz sowie zur Nutzung erneuerbarer Energieträger in Verbindung mit einer deutlich verbesserten Energieeffizienz.

Das „Klimaschutzpaket I“ beinhaltet die Nutzung der Erneuerbaren Energien (EE), „Klimaschutzpaket II“ beinhaltet Maßnahmen zu Energiesparsamkeit und Energieeffizienz.

Zwei Kernpunkte sollen aus dem „Klimaschutzpaket I“ heraus gegriffen werden:

- **Bis zum Jahr 2020 sollen die CO₂-Emissionen gegenüber 1990 um 40 % reduziert werden!**
- **Bis zum Jahr 2020 soll der Anteil von Strom aus erneuerbaren Energieträgern auf mindestens 30 % steigen!**

Im Basisjahr 1990 betragen die gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland etwa **1.050** Mio. t. Für das Jahr 2007 gibt das *Bundesumweltamt* eine Summe von etwa **857** Mio. t CO₂-Emissionen in die Atmosphäre an. Bisher wurden **18,4 %** reduziert.

Um die bis 2020 angestrebten 40 % zu erreichen, müssen die CO₂-Emissionen um weitere etwa 227 Mio. t abgesenkt werden! Umgerechnet auf das Jahr ergibt sich eine Absenkungsmenge von rund 19 Mio. t/a. Für Sachsen können mit einiger Sicherheit die durch EE-Nutzung vermiedenen CO₂-Emissionen für 2008 mit rund **3,3 Mio. t** (Strom und Wärme) abgeschätzt werden.

Sicher sind die Problemstellungen des Klimawandels nicht zum Hauptgegenstand dieser Studie anzuheben, dennoch wollen die Autoren damit zeigen, dass sie Klimawandel und Klimafolgen als primäre Ursachen für schnelles Handeln in Sachen Klimaschutz als vordringlich betrachten.

2.2 Klimaschutzstrategien

2.2.1 Erneuerbarer Energien

Mit dem Klimaschutzprogramm 2001 /9/ hat sich der Freistaat Sachsen zum Klimaschutz bekannt. Die damals formulierte Zielstellung lautete: Bis zum Jahr 2010 soll in Sachsen ein Anteil von 5 % am Strom- und Wärmeverbrauch, bzw. 4.600 GWh/a aus den erneuerbaren Energieträgern Wind, Wasser, Biomasse und Sonne erreicht werden. Im Jahr 2007 wurde das angepeilte Ziel mit rund 5,4 % erstmalig überschritten. Für das laufende Jahr verspricht die Prognose einen Anteil von etwa 5.9 %.

Das Sächsische Klimaschutzprogramm sollte als Initialzündung betrachtet werden. Die neuen Ziele geben EU und die „Klimaschutzpakete I und II“ der Bundesregierung vor (s. Pkt. 2.1).

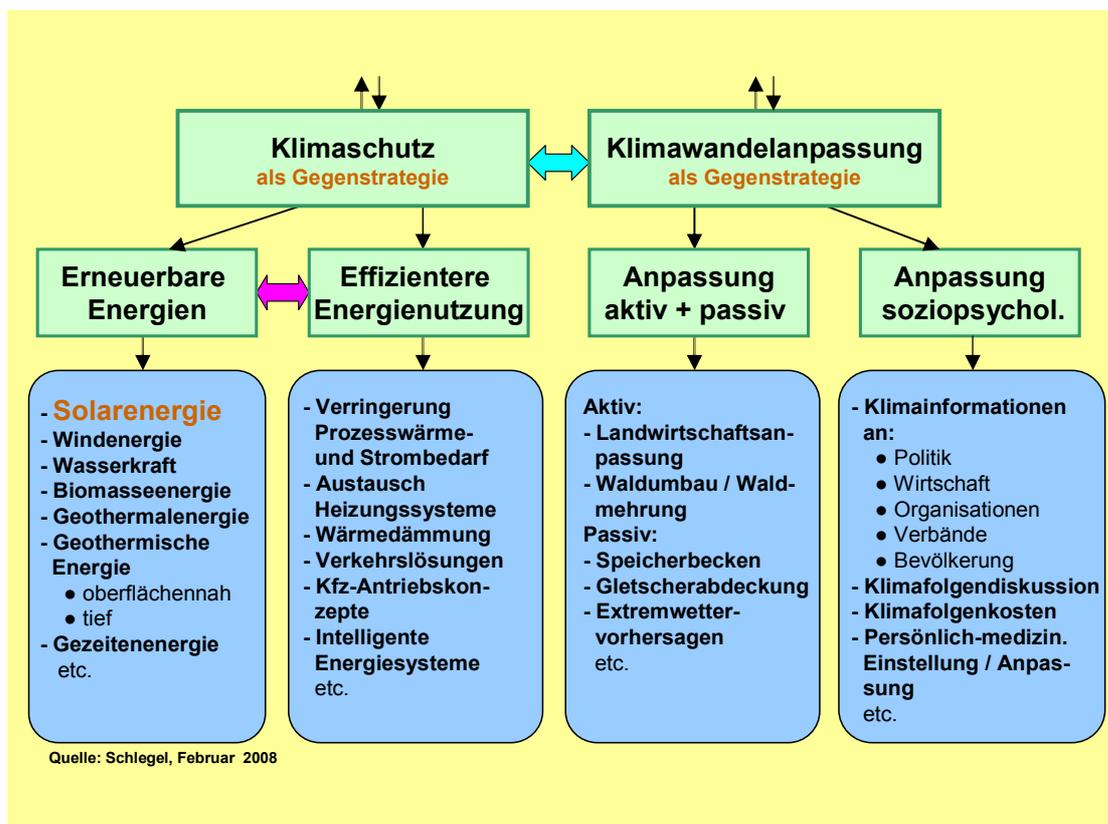


Abb. 2.2-1 Strukturübersicht der Klimaschutzstrategien

Abb. 2.2-1 zeigt die Strukturübersicht der Klimaschutzstrategien. Es muss gelingen, die entwickelten Strategien umzusetzen, auch auf die Gefahr hin, dass noch nicht alle Technologien voll ausgereift sind.

Es ist sicher einleuchtend, dass neben den anderen Bundesländern auch der Freistaat Sachsen seine Beteiligung an der Umsetzung des Klimaschutzpaketes festlegen muss. Unter der Regie der Staatsministerien Umwelt und Landwirtschaft sowie Wirtschaft und Arbeit wurde ein „**Aktionsplan Klima und Energie des Freistaates Sachsen**“ /10/ erarbeitet. Dieser Plan enthält 16 Fachkomplexe aus Klimaanpassung, Klimaschutz und Energie mit insgesamt **222** Maßnahmen. Zurzeit sind alle Maßnahmen qualitativer Art. Sie bedürfen dringend der quantitativen Untersetzung.

2007 wurden in Deutschland rund 87.500 GWh Strom aus den erneuerbaren Energieträgern Wind, Wasser, Biomasse und Sonne in die Netze eingespeist. Bezogen auf den Stromverbrauch von rund 620.000 GWh ergibt sich ein Anteil von 14,1 %.

Dieser prozentuale Anteil war 2007 Realität. Ganz anders noch die Aussage in /11/, einer Schrift von ExxonMobil aus dem Jahr 2004:

„Für Wind- und Sonnenenergie ist unter Annahme einer weiteren Subventionierung sowie einer technischen Weiterentwicklung mit einem zweistelligen Zuwachs zu rechnen. Da aber die Ausgangsbasis sehr niedrig ist, wird der gemeinsame Anteil dieser beiden erneuerbaren Energien an der Deckung des Gesamtenergiebedarfs auch 2020 wohl noch unter 0,5 % liegen.“

„Die erneuerbaren Energien sind selbst bei staatlicher Subventionierung mit ganz erheblichen unternehmerischen Herausforderungen und Investitionsrisiken bei gleichzeitig begrenzten Aussichten auf Wirtschaftlichkeit in der näheren Zukunft verbunden.“

Dass bei ExxonMobil, ebenso in /11/, die Gründe für den Klimawandel infrage gestellt werden, verwundert nicht. Innerhalb von drei Jahren sind diese Aussagen mehr als überholt!

In Sachsen werden 2008 bei einem geschätzten Stromverbrauch von 21.200 GWh aus Wind, Wasser, Biomasse und Sonne voraussichtlich rund **2.970 GWh** in die Stromnetze eingespeist. Der Anteil der Erneuerbaren Energien (EE) erreicht damit **14,0 %**. Zur Veranschaulichung dieser Daten:

Mit dem eingespeisten EE-Strom können rund **1.207.000** sächsische Haushalte, das sind etwa **54,6 %**, ganzjährig mit Äquivalentstrom versorgt werden.

So beeindruckend die o. g. Daten zum EE-Stromanteil auch sein mögen, wird doch sehr deutlich, welche Anstrengungen zur Erfüllung eines Anteils von mindestens 30 % bis 2020 noch unternommen werden müssen.

Der Umbau der Energiewirtschaft von fossilen zu erneuerbaren Energieträgern hat die ersten Hürden in Sachsen genommen. Bürokratische Verweigerung sowie fehlende fachliche Kompetenz bei den Regionalen Planungsverbänden und Genehmigungsbehörden führen immer wieder zu Behinderungen beim anlagentechnischen Ausbau der EE.

Das Erneuerbare Energiengesetz (EEG) hat sich als Segen für den Klimaschutz herausgestellt. Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energieträgern genießt Vorrang. Vor der Stromeinspeisung kommt aber die Erzeugung. Dazu bedarf es der entsprechenden Anlagen:

- Windenergieanlagen (WEA)
- Wasserkraftanlagen (WKA)
- Photovoltaikanlagen/Kraftwerke (PV-KW)
- Biomasse- Heizkraftwerke (Biomasse-HKW)
- Biogasanlagen (BGA)

Für die Errichtung und den Betrieb der o. g. Anlagen bedürfte es ebenfalls eines **Vorranggesetzes**. Dann würden die häufig der Unvernunft geschuldeten Hemmnisse erheblich reduziert.

2.2.2 Energieeffizienz

Die Strukturübersicht der Klimaschutzstrategien in Abb. 2.2-1 verweist auf die enge Verbindung zwischen der EE-Nutzung und der sparsamen sowie effizienten Energienutzung. In der vorliegenden Studie kann diese Thematik nicht mit der gebührenden Aufmerksamkeit und Beharrlichkeit bearbeitet werden.

Eingehende Untersuchungen zu dieser Thematik wurden von der Fraunhofer-Gesellschaft im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung durchgeführt. In einem Aufsatz von *Neugebauer /13/* findet sich die Aussage: „... **dass das Energieeinsparpotenzial der verarbeitenden Industrie in Deutschland immerhin rund dreißig Prozent beträgt – das entspricht rund 24 Kraftwerken a 1,4 Gigawatt ...**“

Die Aussage „**Effizienz ist die beste alternative Energie**“ /13/ darf nur als Teilwahrheit betrachtet werden. Immer muss den Energieverbrauchern klar sein, dass bei allem Einsparungswillen – und der Möglichkeiten gibt es reichlich – zur Aufrechterhaltung von Wirtschaft und Gesellschaft Energie in ausreichender Menge sowie Qualität bereitgestellt werden muss. Die Wirkung von totalen Stromausfällen, z. B. in Italien am 28.09. 2003, etc. sollte ausreichend bekannt sein und in Erinnerung bleiben.

Zur Bestimmung des Zeitpunktes, ab dem eine hundertprozentige Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energieträger in Sachsen möglich ist, kommt dieser o. g. Studie immense Bedeutung zu.

3. Nutzung Erneuerbarer Energien in Sachsen

3.1 Windenergienutzung

3.1.1 Ausgangssituation und kurzer historischer Abriss

In Sachsen begann die Ära der Windenergienutzung am 01.07.1992 auf dem erzgebirgischen „Hirtstein“ in knapp 900 mHN in der Gemeinde Satzung, heute ein Ortsteil von Marienberg. Fünf Windenergieanlagen (WEA) mit einer - aus heutiger Sicht – bescheidenen Gesamtnennleistung von $P_{Nges} = 1.025 \text{ kW}$ wurden in Betrieb genommen. Die kleinste WEA kam auf $P_N = 75 \text{ kW}$ bei einer Nabenhöhe $NH = 36 \text{ m}$ und einem Rotordurchmesser $RD = 15 \text{ m}$. Die größte WEA wurde durch folgende Leistungsdaten charakterisiert:

$P_N = 250 \text{ kW}$
 $NH = 30 \text{ m}$
 $RD = 25 \text{ m}$

Zwei der damaligen WEA-Hersteller, die Firmen **Micon** und **Lagerway** sind seit Jahren nicht mehr am Markt, bzw. sind in anderen Unternehmen aufgegangen. Seit 1992 hat die Windenergiebranche wahre Technologieschübe erlebt. Die für die damalige Zeit recht modernen WEA, die im Oktober 2008 16 erfolgreiche Betriebsjahre geschafft haben, gelten heute als Spielzeuganlagen im Vergleich zu den Multi-MW-WEA der neuen „**binnenlandoptimierten**“ Technologiegeneration.

Diese Anlagen sind gekennzeichnet durch Nennleistungen $P_N = [2 - 3,0 (6)] \text{ MW}$, Nabenhöhen $NH = [100 - 140 (160)] \text{ m}$, Rotordurchmesser $RD = [82 - 100 (126)] \text{ m}$. Die derzeit leistungsstärksten WEA in Sachsen weisen Nennleistungen von 2,3 bis 3,0 MW auf und gehören zu den Produktfamilien der WEA-Hersteller ENERCON und VESTAS.

In den letzten Jahren konnten entscheidende Fortschritte im Turm-, bzw. Mastbau erreicht werden. Mit zunehmender Turmhöhe vergrößern sich auch die Durchmesser der Turmsegmente. Die angewandte Technologie der Turmerrichtung am Standort in monolithischer Stahlbetonbauweise erwies sich als gangbarer, aber sehr teurer Weg. Die Firma Enercon aus Aurich entwickelte die Stahlbeton-Segment-Bauweise für WEA-Türme bis zu Nabenhöhen von $NH = 138 \text{ m}$. Diese Turmsegmente ermöglichen einen praktisch unkomplizierten Transport zu den WEA-Standorten mit anschließender Kranmontage.

Die von Hochspannungsleitungen seit Jahrzehnten bekannten Gittermasten finden langsam ihren Einzug in die Windenergie des Binnenlandes. Statisch sichere Bauhöhen erreichen heute bis zu 160 m. Mit diesen Nabenhöhen wird die Windenergienutzung auch in windschwächeren Gebieten des Binnenlandes wirtschaftlich.

WEA der Fünf- und Sechs-MW-Klasse zählen korrekterweise nicht zu den „binnenlandoptimierten“ Anlagen, da diese für den Off-shore-Betrieb entwickelt wurden. Da aber WEA dieser Größenordnung zunächst an Land erprobt werden müssen, befinden sich neben den Hauptstandorten an der Küste zwei WEA-Standorte im Binnenland in Sachsen-Anhalt (Egeln: 1 x Enercon E 112/4,5 MW, Dardesheim: 1 x Enercon E 112/6,0 MW).

3.1.2 Nutzungsstand 2007/2008

Zunächst soll ein Vergleich die überraschende Leistungsfähigkeit der sächsischen Windenergienutzung demonstrieren. In /17/ wurden für Schleswig-Holstein die WEA-Jahresergebnisse 2007 vorgestellt. Schleswig-Holstein zählt zu den Bundesländern in denen der Windstromanteil bereits bei > 30 % am Verbrauch liegt. Das Jahr 2007 wird nach 1998 als das windstärkste Jahr genannt, was auch für Sachsen zutrifft.

Mit einer Anlage vom Typ NEG Micon NM 80/2.750 (heute Vestas) /17/ $P_N = 2,75$ MW, NH = 60 m, und RD = 80 m wurden $E = 7.143$ MWh/a Strom erzeugt.

Die beste sächsische WEA, die in einem Windpark im Landkreis Leipzig [früher Muldentalkreis (MTL)] vom Typ Vestas V 90-2 MW, NH = 105 m, RD = 90 m betrieben wird, erzeugte mit $E = 6.965$ MWh/a nicht viel weniger im Absolutbetrag als die Spitzenanlage im Norden.

Da sich die beiden WEA in ihrer Nennleistung aber erheblich unterscheiden, nämlich $P_N = 2,75$ MW zu $P_N = 2$ MW, schneidet die sächsische WEA, bezogen auf das Maß der Volllaststunden t_a , erheblich besser ab, wie in Abb. 3.1-1 dargestellt. Der in Sachsen eingesetzte Anlagentyp Vestas V90-2 MW gehört zur neuen Technologieklasse, den „binnenlandoptimierten“ WEA, die sich neben großen Nabenhöhen, große Rotordurchmesser (s. o.) sowie durch eine intelligente Steuerung auszeichnen.

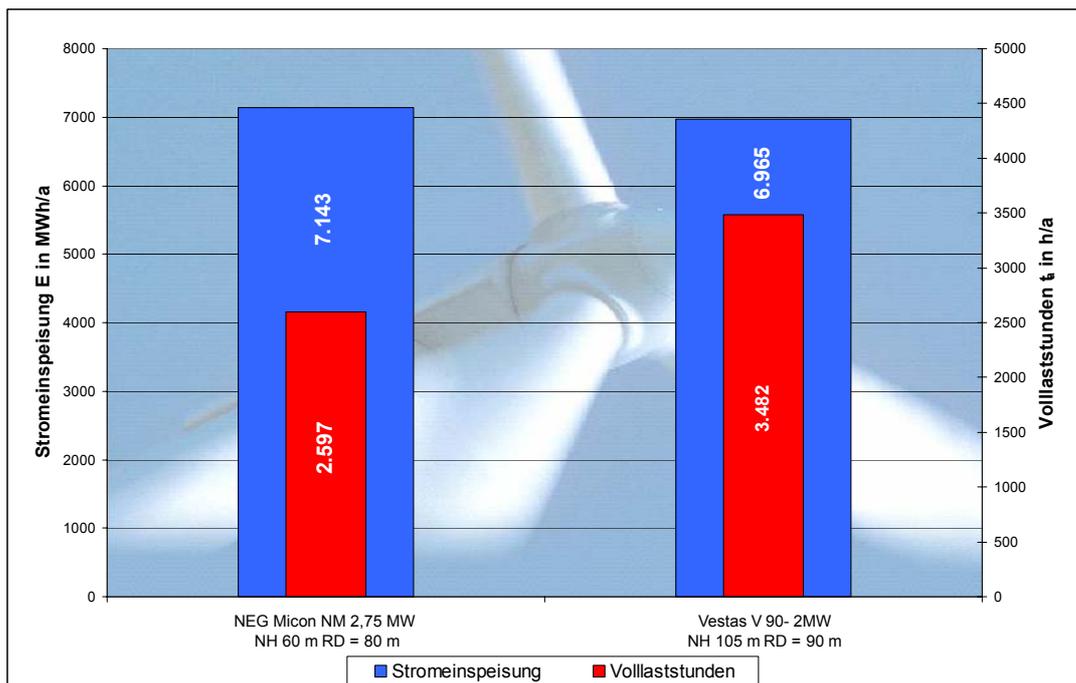


Abb. 3.1-1: Stromeinspeisungsvergleich WEA Reußenköge/SH – WEA/Sachsen 2007
Quelle: Windenergie XX, Praxisergebnisse 2007; LWK Schleswig-Holstein Schlegel, Oktober 2008 (bearbeitet)

Kritiker können einwerfen, dass ein solcher Vergleich stark hinkt und eigentlich nicht zulässig wäre. Aus Autorensicht ist ein solcher Vergleich durchaus zulässig. Denn: Der Nachteil der geringeren mittleren Windgeschwindigkeiten im Binnenland wird durch

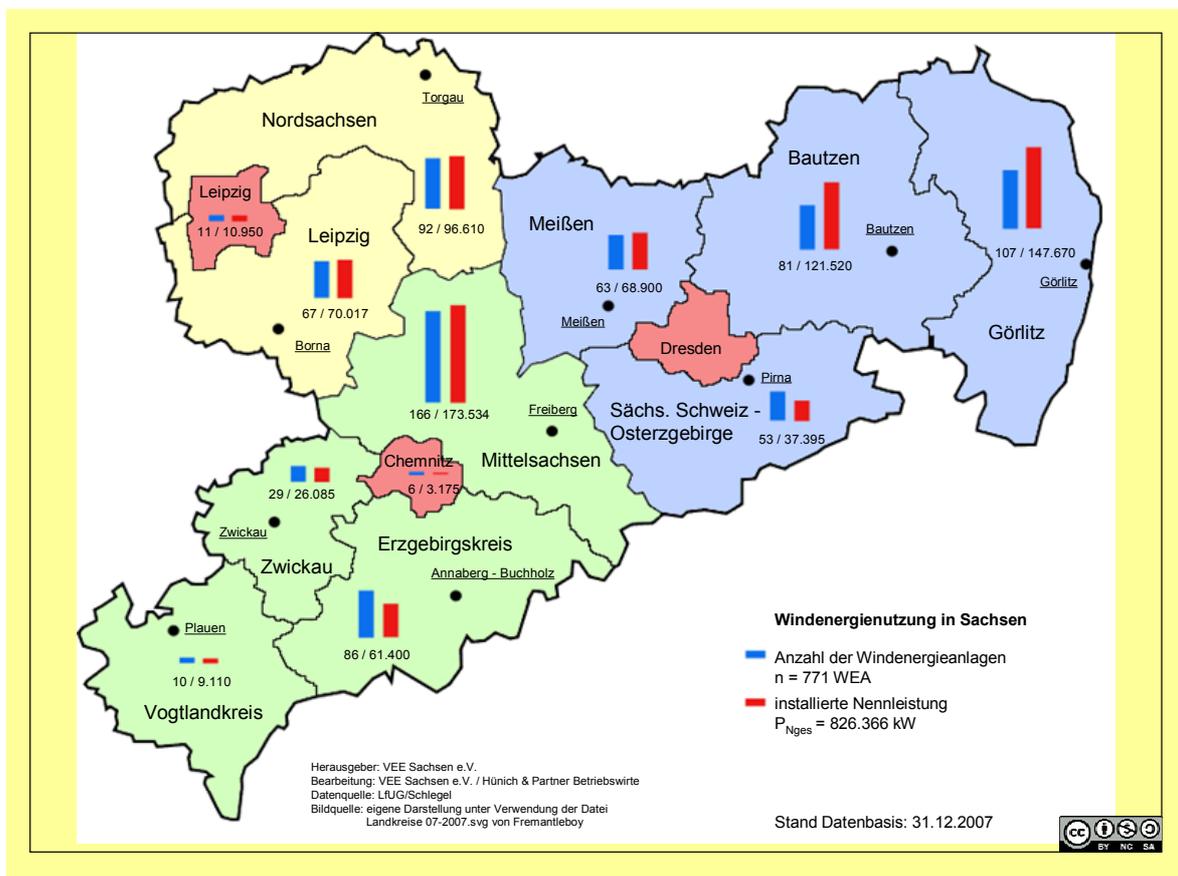
große Nabenhöhen und Rotordurchmesser kompensiert. Die Windleistung P_{WEA} verhält sich proportional zur dritten Potenz der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe, so dass im Binnenland mit größeren Nabenhöhen der Vorteil der Küstennähe ausgeglichen wird!

Die Windenergiebilanz sieht für die drei Landesdirektionen mit dem Arbeitsstand: 15.10.2008 folgendermaßen aus:

- LD Chemnitz: **299 WEA / $P_N = 277.304$ kW**
- LD Dresden: **308 WEA / $P_N = 385.485$ kW**
- LD Leipzig: **172 WEA / $P_N = 182.177$ kW**

Σ : 779 WEA / $P_N = 844.966$ kW

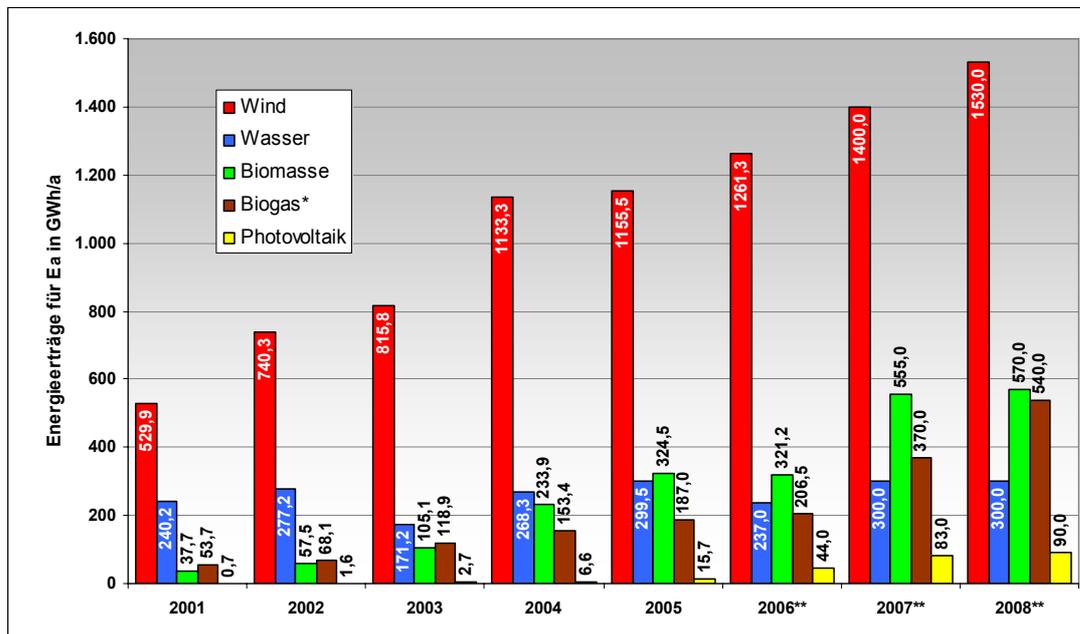
Karte 3.1-1 vermittelt die Verteilung der Anlagen nach Anzahl und Leistung in den sächsischen Landkreisen und kreisfreien Städten. Der Stand vom 31.12.2007 wurde nachträglich auf die ab 01.08.2008 neugebildeten Landkreise übertragen.



Karte 3.1-1: Anzahl und Leistung der WEA/WP nach neuen Landkreisen (Stand 31.12.2007)

Die Windenergie stellt nicht nur in Deutschland, sondern auch in Sachsen mit voraussichtlich 7,2 % am geschätzten Stromverbrauch 2008 ($E_{Verbrauch} \approx 21.200$ GWh) den größten Anteil im Bereich der erneuerbaren Energieträger.

In der Abb. 3.1-2 wird die dominierende Rolle der Windenergie, noch deutlich vor der Biomasseenergie, anschaulich dargestellt. Mittelfristig wird sich an dieser Dominanz nichts ändern.



* Summe aus Biogas, Deponiegas, Klärgas

** Daten für 2007/2008 hochgerechnet

Quelle : StaLA, LfUG/Schlegel, April 2008

Abb. 3.1-2: Jahresübersicht Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern

In einer zurückliegenden Untersuchung /16/ zur Effizienz der Windenergienutzung in Sachsen wurden die Volllaststunden ermittelt. Die Volllaststunden t_a sind als Maß der Effizienzbestimmung für Windenergieanlagen nicht nur üblich, sondern sichern auch die Vergleichbarkeit unterschiedlicher WEA-Nennleistungen. Nach Auswertung der Stromerträge von 99 sächsischen Windstandorten mit unterschiedlichsten WEA wurde ein Mittelwert von $t_a \approx 1.772 \text{ h/a}$ bestimmt. Die Spannweite für die Volllaststunden reichte von $t_a \approx (1.000 - 2.913) \text{ h/a}$. Aus dieser großen Spannweite kann geschlossen werden, dass in der Anfangszeit der sächsischen Windenergienutzung bei geringerem Technologiestandard der Anlagen die Begutachtung der WEA-Standorte, zumindest teilweise, nicht sehr ausgeprägt und demzufolge die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen kaum gegeben war.

Diese Situation hat sich seit Ende der 90er Jahre grundlegend geändert. Mit den WEA der „binnenlandoptimierten“ Technologiegeneration werden heute Volllaststunden zwischen **2.500 h/a** und über **3.400 h/a** erzielt!

Unter der gegebenen Bedingung, dass ab Januar 2008 eine WEA-Gesamtleistung von $P \approx 826 \text{ MW}$ verfügbar war sowie unter der Annahme einer Volllaststundenanzahl von $t_a \approx 1.850 \text{ h/a}$ kann die Einspeisung in die öffentlichen Stromnetze in der Größenordnung von $E \approx 1.530 \text{ GWh/a}$ hochgerechnet werden.

Die Erhöhung der Volllaststundenzahl ab 2008 auf $t_a \approx 1.850 \text{ h/a}$ beruht ausschließlich auf den Erfahrungswerten des Autors und kann derzeit nicht durch Studienergebnisse abgesichert werden!

Diese Äquivalentstrommenge reicht für die Jahresversorgung von fast 622.000 sächsischen Haushalten aus. Die allein durch den Windstrom vermiedenen CO₂-Emissionen werden im Jahr 2008 rund **1.420.000 t** (Berechnung nach /15/) betragen. In Abb. 3.1-3 ist die Entwicklung nach Anzahl, Leistung und Stromertrag dargestellt. Für das laufende Jahr 2008 handelt es sich beim Stromertrag um eine Prognose. Für den hochgerechneten Stromertrag 2007 liegt ebenfalls noch kein bestätigter Wert des Statistischen Landesamtes vor.

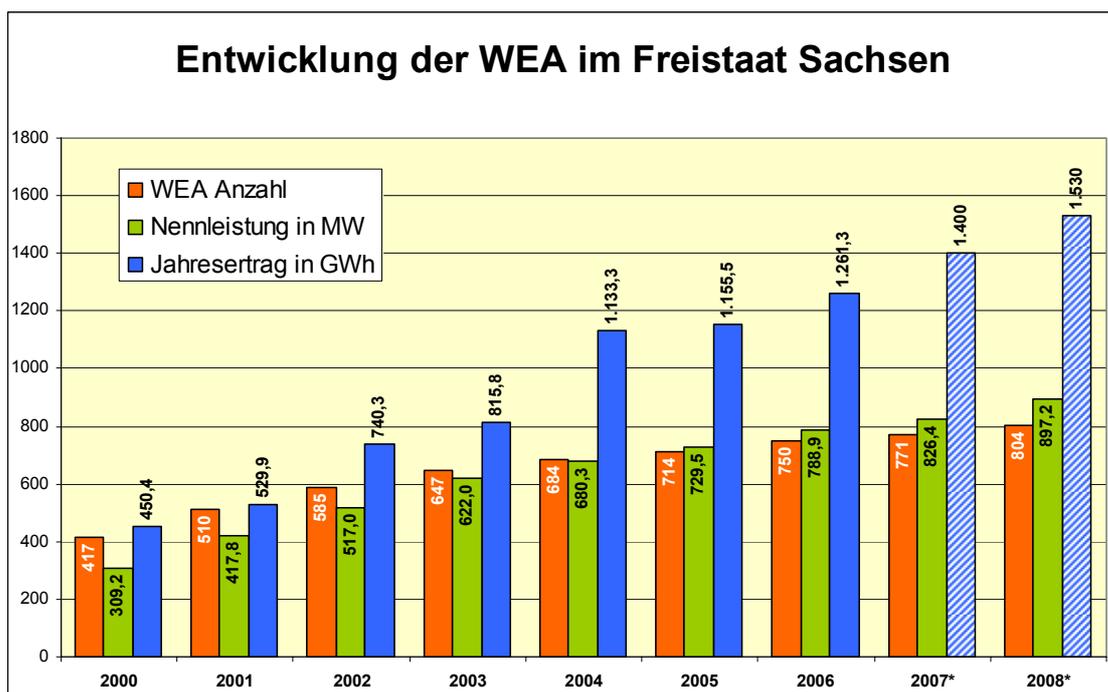


Abb. 3.1-3: Entwicklung der Windenergie in Sachsen (2007*/2008*: prognostizierter Ertrag)
Quelle : LfUG 2007; Schlegel, Oktober 2008

3.1.3 Technisch-realistisches Windenergiepotenzial

Im Dezember 1997 wurde der im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) erarbeitete Abschlussbericht „Windpotentiale in Sachsen“ /18/ veröffentlicht. Die Windenergiepotenziale basierten auf dem mehrjährigen Windmessprogramm Sachsen.

Nach allen Abschlägen vom Gesamtpotenzial, welches mit rund 19.100 GWh/a quantifiziert wurde, verblieb nach /17/ ein technisch-realistisches Windenergiepotenzial für Sachsen in der Größe von rund **4.750 GWh/a**.

Mit dem Technologiestand von 1997 (WEA-Leistungsdaten $P_N = 500 \text{ kW}$, $NH = 60 \text{ m}$, $RD = 40 \text{ m}$) wären zur Realisierung dieser Strommenge unter Annahme einer Volllaststundenzahl von $t_a = 2.000 \text{ h/a}$ insgesamt 4.750 WEA mit einer Gesamtleistung von 2.375 MW notwendig gewesen. Wie aus der Untersuchung von Schlegel /16/ hervorgeht, hatten die Autoren der Windpotenzialstudie von 1997 die Volllast-

stundenzahl mit 2.000 h/a zu hoch angesetzt. Mit den ermittelten 1.772 h/a müssten zur Realisierung des Stromertrages von 4.750 GWh/a insgesamt **5.360 WEA** der 500 kW-Klasse errichtet und betrieben werden!

Die für Errichtung und Betrieb von mindestens 4.750 WEA benötigte Fläche wurde mit rund **245 km²** angesetzt. Das wären **1,33 %** der Gesamtfläche (**A_{SN} = 18.417 km²**) des Freistaates Sachsen.

Für die Realisierung von **5.360 WEA** der 500 kW-Klasse würde der Flächenbedarf auf **276 km²** anwachsen, was einem Anteil von **1,5 %** der sächsischen Gesamtfläche entsprechen würde.

Bei näherer Betrachtung der vorgenannten Zahlen spielt der Flächenbedarf von rund 1.5 % keine entscheidende Rolle, vielmehr wirkt die Zahl von 5.360 WEA, die in Sachsen errichtet und betrieben werden müssten, sehr ernüchternd. Aber elf Jahre Technologie-entwicklung in der WEA-Industrie verhindern ein solches Dilemma.

Die realen Stromerträge der Windenergieanlagen, nicht nur WEA der heutigen Technologiegeneration, erlauben den Schluss, dass in Sachsen ausreichende Gebiete/Flächen vorhanden sind, die gute bis sehr gute Windverhältnisse garantieren. Der leistungsstärkste sächsische Windpark befindet sich nicht auf den Hochlagen des Erzgebirges, sondern im Mittelsächsischen Hügelland. Die Verteilung des Windpotenzials verläuft mit gewisser Gleichmäßigkeit in west-östlicher Richtung durch Sachsen. Der Südwesten Sachsens sowie verschiedene Mittelgebirgsbereiche werden durch topographische und orographische Störungen charakterisiert, so dass hier Windeignungsgebiete nur mit Einschränkungen zur Verfügung stehen. Für weite Teile besteht dennoch eine gute Windhöffigkeit, und die Reserven sind bei weitem nicht ausgeschöpft.

Es besteht kein Zweifel, dass das 1997 ermittelte Windpotenzial, bezüglich seiner Größenordnung nicht realistisch ist.

3.1.4 Potenzialbewertung aus aktueller Sicht

Die Bewertung des sächsischen Windenergiepotenzials fällt im Jahr 2008 wesentlich leichter als vor zehn Jahren. Durch die Erfahrungen aus dem sechzehnjährigen Betrieb von WEA in Sachsen sowie der enormen technischen Weiterentwicklung der Anlagen besteht auch wesentlich mehr Sicherheit in der Beurteilung der jährlichen Stromerzeugungsentwicklung und vor allem in der Prognose für die Jahre bis 2020.

Es wird in Sachsen immer mehr zum Standard, dass neu errichtete Windparks (WP), die mit WEA der neuen Technologiegeneration ausgerüstet sind, pro 2-MW-WEA elektrischen Strom zwischen 5.000 bis über 6.000 MWh/a in die Netze einspeisen. Abb. 3.1-4 zeigt die Auswertung von zwei Windparks mit gleicher WEA-Anzahl sowie gleicher Gesamtleistung hinsichtlich der Stromerträge für das Jahr 2007. Die wesentlichen Unterschiede bestehen in den geometrischen Abmessungen der WEA.

Der Jahresstromertrag von „Windpark 1“ reicht für eine äquivalente Jahresversorgung von rund 21.380 Haushalten, der Jahresstromertrag von „Windpark 2“ ermöglicht die äquivalente Jahresversorgung von rund 14.500 Haushalten. Der Stromverbrauch sächsischer Haushalte liegt bei etwa 2.460 kWh/a.

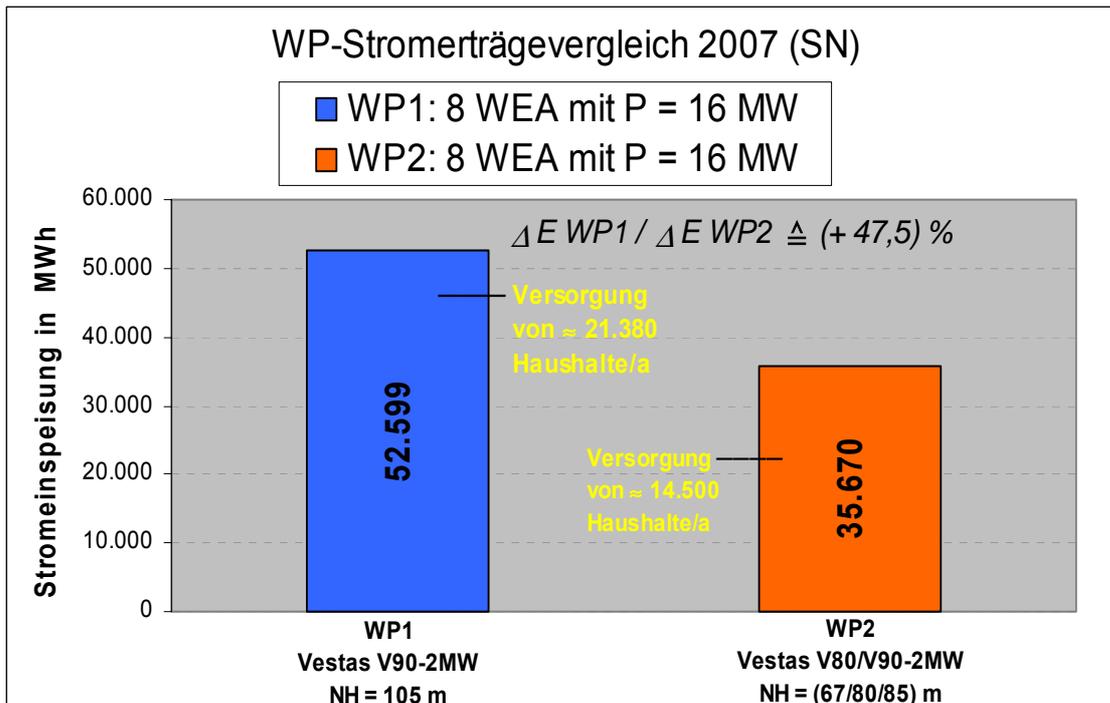


Abb. 3.1-4: Stromertr gevergleich zweier sächsischer Windparks gleicher Nennleistung
Quelle: Schlegel, Januar 2008

Aus leistungsm ssiger Sicht der WEA, dürfen sich nur marginale Unterschiede in der Stromerzeugung des WP 1 und WP 2 ergeben. Die im Generator umsetzbare Windleistung hängt aber erheblich von der Windgeschwindigkeit v_{NH} (in Nabenhöhe) und von der luftdurchstr mten Rotorblattfl che A_{Rotor} ab.

Die Windleistung P_{WEA} ist proportional der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe und wird damit zur leistungsbestimmenden Größe /24/.

$$P_{WEA} \sim v_{NH}^3 \quad [P_{WEA}] \text{ kW}$$

Am folgenden Beispiel kann die Wirkung der Windgeschwindigkeitsänderung zumindest zahlenmässig plausibel aufgezeigt werden:

Als mittlere Windgeschwindigkeit in $h = 10 \text{ m}$ über Grund wird $v_m \approx 4,2 \text{ m/s}$ angenommen, dann folgen überschlägig nach *Hellmann* für:

$h_{NH} = 10 \text{ m}: v_m \approx 4,2 \text{ m/s}$	$f_{HN} \approx 74$
$h_{NH} = 100 \text{ m}: v_m \approx 6,1 \text{ m/s}$	$f_{HN} \approx 227$
$h_{NH} = 140 \text{ m}: v_m \approx 6,4 \text{ m/s}$	$f_{HN} \approx 262$

Die Zahlenanalyse verdeutlicht: Die Nabenhöhe übt den entscheidenden Einfluss auf die Windleistung aus, da $v_{\text{Wind}} = f(\text{NH})$ gilt. Bei o. g. $v_m = 4,2$ m/s ergibt sich ein Leistungsfaktor von **74**, der in die Windleistungsgleichung eingeht. In 100 m Nabenhöhe steigt die Windgeschwindigkeit auf $v_m = 6,1$ m/s, so dass der Faktor bereits auf **227** anwächst. In einer Nabenhöhe von 140 m steigt die ursprüngliche Windgeschwindigkeit von 4,2 m/s auf 6,4 m/s an. Der Leistungsfaktor wächst auf den Wert **262!**

Natürlich ist die Windgeschwindigkeit nicht nur von der Höhe über Grund, sondern auch von der Oberflächenrauigkeit (Pflanzenbewuchs, Einzelbäume, Wald, Bebauung, orographischer Differenziertheit) sowie Luftturbulenzen, Wettersituationen (m_{Luft}), etc. abhängig.

Für die WEA der heutigen Technologiegeneration kommt es darauf an, dass die Rotorblätter auch im Tiefstand möglichst oberhalb der reibungs- und turbulenzstärkeren *Prandtl-Schicht*, der Rotor also in Gesamtheit in der *Ekman-Schicht* dreht. Die *Ekman-Schicht* beginnt bei etwa (80 – 90) m über dem Erdboden und zeichnet sich durch einen geringeren Gradienten der Windgeschwindigkeit und somit durch eine gleichmäßigere Luftströmung und geringere Belastung der WEA aus **/20/**.

Für den Betrieb von WEA/WP im Binnenland muss grundsätzlich abgesichert sein, dass es **keine Höhenbegrenzung**, weder bezogen auf die Nabenhöhe (NH) noch auf die Gesamthöhe (h_{ges}), geben darf.

Der Energieertrag E_a verhält sich wiederum zur Windenergieleistung P_{WEA} proportional!

Der Einfluss des Rotordurchmessers (RD) ist als Einzelfaktor wesentlich geringer auf den Energieertrag als die Windgeschwindigkeit (v). Hierbei darf aber die Multiplikatorwirkung nicht unterschätzt werden. Aus Einzeluntersuchungen konnte der Autor bei einer WEA vom Typ V90-2MW gegenüber einer WEA V80-2MW eine Ertragszunahme von etwa 20 % feststellen.

In der Abb. 3.1-5 werden die Stromerträge der ersten zehn Monate 2008 von sieben WEA verglichen. Bei der primären Referenzanlage (R_{prim}) handelt es sich um eine 2-MW-WEA von Vestas, die aufgrund ihrer geringen Nabenhöhe sowie ihres „geringen“ Rotordurchmessers (NH = 67 m; RD = 80 m) nicht zu den „binnenlandoptimierten“ Anlagen gehört.

Zwischen den fünf 2-MW-Vergleichs-WEA bestehen nur standort- und teilweise witterungsbezogene Ertragsunterschiede. Die beste WEA hat bereits gegenüber der Referenz-WEA bis Ende Oktober 2008 rund **78 %** mehr Strom erzeugt. Auch im Durchschnitt aller fünf WEA ergibt sich eine Strommehrerzeugung von 63,2 %.

Zusätzlich zur primären Referenzanlage wurde eine zweite, sogenannte sekundäre Referenzanlage (R_{sek}) in das Monitoring aufgenommen. Bei dieser Maschine handelt es sich um eine WEA von Siemens, Typ SWT 2.3-93, mit einer Nennleistung von 2,3 MW bei einer Nabenhöhe von 103 m und einem Rotordurchmesser von 93 m. Am Ergebnis der Stromerzeugung nach zehn Monaten lässt sich unschwer erkennen, dass dieser Anlagentyp nicht mit den Vergleichsanlagen mithalten kann. Begründung: Dieser Anlagentyp wird vom Hersteller als Starkwindmaschine produziert und vertrieben.

Der für den Betrieb ausgesuchte Binnenstandort in Ostsachsen kann diese Voraussetzungen nicht erfüllen, so dass die Anlagenergebnisse hinter den ursprünglichen Erwartungen zurück bleiben.

Diese o. g. Untersuchung wird bis zum Jahresende 2008 fortgesetzt. Anhand der bewerteten Ergebnisse kann eine relativ sichere Prognose für die zukünftige Windenergienutzung abgegeben werden.

Aus naturwissenschaftlichen und technischen Gründen bestehen keinerlei Zweifel daran, dass bis zum Jahr 2020 aus sächsischen WEA/WP elektrischer Strom mindestens bis zu 4.750 GWh/a in die öffentlichen Netze eingespeist werden könnte.

Bezogen auf den für 2008 abgeschätzten Stromverbrauch, würde der Windstromanteil rund 22 % erreichen!

Wie im weiteren Teil der Studie nachgewiesen wird, könnte die Windstromerzeugung nochmals gesteigert werden.

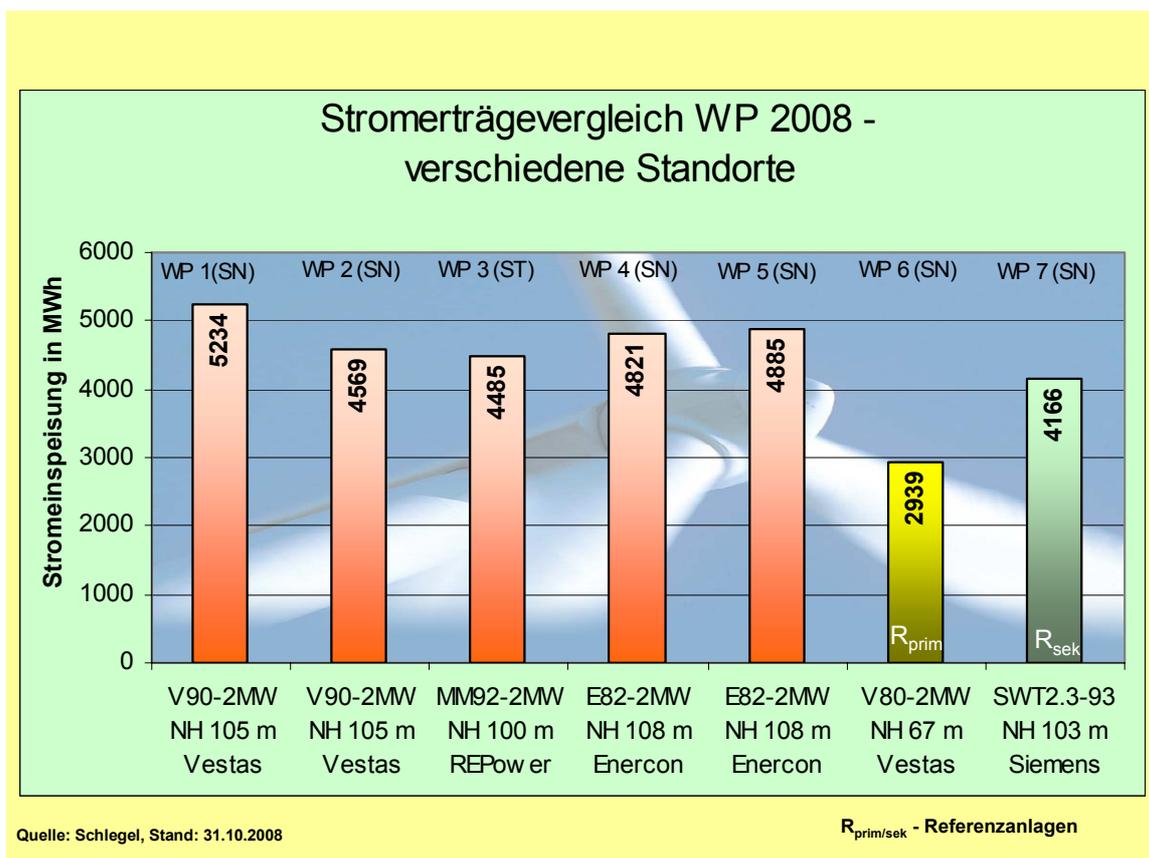


Abb. 3.1-5: Stromerträgevergleich von 2-MW-WEA an verschiedenen Standorten in Sachsen und Sachsen-Anhalt
Quelle: Schlegel, Stand: 31.10.2008

Mit diesem Ergebnis könnte Sachsen nicht an die Windstromanteile der windstarken Länder Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein heranreichen, die heute bereits Anteile von mehr als 30 % aufweisen. Für die sächsischen Verhältnisse bliebe das trotzdem ein respektables Ergebnis, da der Freistaat über deutlich weniger für die Windenergienutzung (objektiv) geeignete Flächen verfügt als die o. g. Bundesländer.

Laut des Abschlussberichts 1997 /18/, wären für die Umsetzung des Windpotenzials von 4.750 GWh/a mindestens 4.750 WEA mit jeweiliger Leistung von 500 kW notwendig gewesen. Nach den Untersuchungen /15/ ergab sich für die Voll-laststundenzahl mit **1.772 h/a** aber ein geringerer Wert, so dass die benötigte Anzahl auf rund 5.360 WEA der 500-kW-Klasse angestiegen wäre. Die dafür benötigte Fläche wäre gleichfalls von rund 245 km², entspricht 1,33 % der Landesfläche auf rund **276 km²**, entspricht **1,5 %** der Landesfläche (**A_{Sachsen} = 18.417 km²**) angestiegen.

Der 2008 erreichte Technologiestand ermöglicht nicht nur, sondern erfordert eine Neubewertung der Windenergiesituation. An Investoren (auch potenzielle), Ingenieurbüros sowie Betreiber von WEA/WP wird die Forderung herangetragen, WEA/WP so zu errichten, dass die Vollaststundenzahl (t_a) **mindestens** 2.500 h/a erreicht. Wie bereits an den o.g. Untersuchungsergebnissen gezeigt, lässt sich diese positive Entwicklung der Windenergienutzung auf ganz Sachsen übertragen und für die notwendige Neuberechnung ansetzen.

Berechnungsmodell:

$$E_{\text{WEA pot}} = P_{\text{ges}} * (t_a)$$

$$P_{\text{ges}} = E_{\text{WEA pot}} * (t_a)^{-1}$$

$$P_{\text{ges}} = 1.900 \text{ MW}$$

$$E_{\text{WEA pot}} = 4.750 \text{ GWh/a}$$

$$t_a = 2.500 \text{ h/a}$$

Aus $P_{\text{ges}} = 1.900 \text{ MW}$ folgt, dass bei ausschließlicher Verwendung der binnenland-optimierten 2-MW-WEA

950 WEA

für die Stromerzeugung von **4.750 GWh/a** in Sachsen benötigt würden.

Für die notwendige Flächenbereitstellung wird ein pauschaler Flächenbedarf pro WEA angesetzt. Für eine 2-MW-WEA, die in einem Windpark aufgestellt wird, empfiehlt sich folgende Flächenannahme:

$$A_{\text{WEA}} \approx 10 \text{ ha/WEA}$$

$$A_{\text{WEAges}} \approx 950 \text{ WEA} * 10 \text{ ha/WEA}$$

$$A_{\text{WEAges}} \approx 9.500 \text{ ha} \approx 95 \text{ km}^2$$

$$A_{\text{WEAges}} \approx 95 \text{ km}^2 \triangleq 0,52 \% A_{\text{SN}} (18.417 \text{ km}^2)$$

Der Flächenbedarf für eine 2-MW-WEA von 10 ha/WEA stellt eine in der Praxis bestätigte Erfahrung dar. Diese Pauschalannahme gilt nicht für Einzelstandorte und kann auch in Abhängigkeit von der Ausbildung des Flächenpolygons nach unten oder nach oben abweichen.

Gegenüber dem Berechnungsmodell nach /18/ von 1997, nach dem 276 km² bzw. 1,5% der Fläche Sachsens benötigt würden, würde sich die mit heutigem Technologiestand für die Potenzialrealisierung benötigte Fläche auf **95 km²** bzw. **0,52 % A_{SN}** verringern.

Am Jahresende 2008 wird die Anlagenanzahl auf **804 WEA** mit einer installierten Gesamtleistung von rund **897 MW** ansteigen. Von diesen Anlagen erfüllen aber nur die vornehmlich ab 2005 errichteten WEA die Anforderungen der heutigen Technologiebedingungen.

Nach vorliegendem Kenntnisstand wurden für Errichtung und Betrieb von weiteren etwa 75 WEA mit einer Leistung von rund 134 MW (150 MW) die Genehmigungsverfahren eingeleitet, bzw. befinden sich in einem fortgeschrittenen Stadium. Sollten alle Verfahren vor **2012** erfolgreich abgeschlossen sein, könnten mit der dann installierten Gesamtleistung von (1.031 – 1.047) MW erstmals etwa **2.000 GWh/a** Windstrom in die sächsischen Netze eingespeist werden, was einem Anteil von **9,5 %** am heutigen Verbrauch entspräche.

Bis 2020 bestehen weitere reale Steigerungen, wie diese bereits dargestellt bzw. im Folgenden erörtert werden. Mögliche Steigerungen, die sich auf den Zeitraum nach 2020 beziehen, können derzeit nicht abgeschätzt werden, da diese sehr stark von der technologischen Entwicklung in der Anlagentechnik abhängen.

3.1.5 Umsetzungsmöglichkeiten für das technisch-realistische Potenzial

Die Windenergienutzung ist neben **meteorologisch-klimatischen (Grundvoraussetzung)**, auch von einem ganzen Paket **sozialer, ökologischer, technologischer und ökonomischer Faktoren** abhängig.

Nachfolgend nur eine auszugsweise Beschreibung der Faktoren:

- Meteorologisch-klimatische Bedingungen

Am Standort der Windenergienutzung muss ein ausreichendes Windfeld (mittlere Jahreswindgeschwindigkeit $v_m \geq 3,8 \text{ m/s}$ in 10 m Höhe über Grund zur Verfügung stehen. Wird am geplanten WEA/WP-Standort keine ausreichende mittlere Jahreswindgeschwindigkeit erreicht, kann die Untersuchung weiterer Kriterien abgebrochen werden, da Errichtung und Betrieb von WEA/WP nicht wirtschaftlich vermittelbar sind.

Zu den meteorologisch-klimatischen Bedingungen gehören auch solche Faktoren, wie das Auftreten von Extremwetterlagen (Anzahl Sturmtage, Gewitterhäufigkeit / Gewitterstärke / Blitzeinschläge, Rotorblattvereisungsgefahr etc).

- Sozial determinierte Faktoren

Der Autor des Kapitels Windenergienutzung vertritt den persönlichen Standpunkt, dass der **„Mensch“** als höchstes Schutzgut vor allen weiteren Schutzgütern Priorität besitzt. Aus diesem Grund werden auch vor der Feststellung, ob ein wirtschaftlicher Betrieb von WEA/WP möglich ist, die sozial determinierten Faktoren erstrangig untersucht.

Nachfolgend die Auflistung der wichtigsten (nicht vollständigen) sozialen Faktoren:

- **Geräusentwicklung**
- **Schattenwurfbelästigung**
- **Gefahrenbefeuern**
- **Bedrückungsgefühl**
- **Ästhetisches Landschaftsempfinden**
- **Stromkostensteigerungen**
- **Anlagenunwirtschaftlichkeit**

Leider würde es den Rahmen der Studie sprengen, wenn hier alle Einzelfaktoren beschrieben und bewertet würden. Eine Beschreibung und Bewertung liegt aber ausführlich in /19/ vor, deshalb hier nur einige verbale Ausführungen mit bildlicher Untersetzung.

Ständiger Streitpunkt und von den Gegnern der Windenergie unablässig ins Feld geführt sind die mit Errichtung und Betrieb von WEA verbundenen Eingriffe in Natur und Landschaft.

- Das „**Ästhetische Landschaftsempfinden**“ wird, wenn es vor allem auf technische Objekte bezogen ist, grundsätzlich durch subjektive Wahrnehmung bestimmt. Diese lässt sich nicht quantifizieren und kann praktisch nicht in Maß und Zahl, in Tabellen oder Raster gebracht werden. Aus der Sichtweise des Autors könnte dieses Konfliktfeld durch das Verstehen des anthropogenen Klimawandels, der daraus resultierenden Klimafolgen und des Klimaschutzes als eine der Gegenstrategien sehr schnell aufgelöst werden.
- Spätestens mit Beginn der 1. Industriellen Revolution setzte sich auch in Sachsen die „**technogene Überprägung**“ der bis dahin entstandenen „**Kulturlandschaft**“ mittels Fabrikbauten, Kraftwerke, Großchemieanlagen, Straßen- und Schienenwege, Schiffahrtskanäle, Flughäfen, Großtagebaue, Stromtransportleitungen etc. durch. Die bis dahin durch den Menschen geformte Kulturlandschaft war in gut tausendjähriger Geschichte aus der urwüchsigen „**Naturlandschaft**“ entstanden. Seit Anfang der neunziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts wird die bisher so technogen geprägte Kulturlandschaft durch Windenergieanlagen bereichert.
- WEA, ob als Einzelanlagen oder in Windparks errichtet und betrieben, führen zu einer Veränderung des Landschaftsbildes, gerade durch die bereits dargestellte technogene Prägung. Nachteilig für die Windenergienutzung ergibt sich, dass die für eine Gewöhnung notwendige Zeit noch nicht ausreichend ist. Windenergiegegner übertreffen sich fast in ihren Wortschöpfungen, wie „**Landschaftsbildverschandelung**“, „**Horizontverschmutzung**“, „**Verspargelung**“, etc.

Die Abb. 3.1-6 bis 3.1-9 zeigen Eingriffe in Natur und Landschaft, die durch Windparks sowie durch andere Anlagen der Energiegewinnung verursacht wurden.



Abb. 3.1-6: Windpark „Silberberg“ Mutzschen (Lkr. Leipzig),
8 x WEA V90-2MW, NH = 105 m, RD = 90 m
Quelle: Foto, Schlegel, 22.10.2006



Abb. 3.1-7: Windpark „Döbeln-Bormitz“ Mutzschen (Mittelsachsen),
3 x WEA NM 1000, 2 x WEA GE 1.5 sL, NH = 96/85 m, RD = 77 m
Quelle: Foto, Schlegel, 26.12.2005



Abb. 3.1-8: Braunkohletagebau „Vereinigtes Schleenhain“ (Lkr. Leipzig)
Quelle: Foto, Schlegel, 08.10.2008

Braunkohlentagebaue sind die besten Beispiele, um riesige Eingriffe in Natur und Landschaft zu verstehen. Die wichtigsten Kenngrößen des Tagebaues:

Abbaufeld:	$A_{\text{Abbau}} \approx 25 \text{ km}^2$
Kohlevorrat (2008 bestätigt):	$m_{\text{Kohle}} \approx 347 \times 10^6 \text{ t}$
Jahresförderung:	$m_{\text{Förder}} \approx 11 \times 10^6 \text{ t/a}$
Abraumförderung:	$V_{\text{Abraum}} \approx (30-35) 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$
Wasserhebung:	$V_{\text{Wasser}} \approx 30 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

Die angegebenen Daten wurden von der Anzeigetafel der MIBRAG AG Theißen (mit Sitz in Sachsen-Anhalt) am Beobachtungspunkt in Neukieritzsch-Ost übernommen. Bei Beibehaltung der Jahresförderung von 11 Millionen Tonnen Braunkohle könnte der Tagebau das in Sichtweite befindliche Kraftwerk Lippendorf ($P_{\text{Net}} = 1.866 \text{ MW}$) noch etwa 31 Jahre mit dem Energieträger versorgen.

Eine nähere Betrachtung der o. g. Zahlen führt zwangsläufig zu weiteren Erkenntnissen. Die notwendige Wasserhebung für den Tagebau vergrößert den Flächeneingriff nochmals erheblich. 30 Millionen Kubikmeter Wasser, die vom Tagebau ferngehalten werden müssen, erfordern einen Absenkungstrichter, der flächenmäßig das Abbaufeld deutlich übertrifft und durch die Veränderung des natürlichen Wasserhaushaltes negative Wirkungen hervorruft.

Im Streit um Windenergieanlagen sollten bei der Gegnerschaft sachlicherweise diese Fakten Berücksichtigung finden.

Abb. 3.1-9 zeigt das Braunkohlenkraftwerk Lippendorf, welches sich in Sichtweite zum Tagebau „Vereinigtes Schleenhain“ befindet. Diese Bild ist ein beredtes Beispiel für die technogene Landschaftsprägung in heutiger Zeit.



Abb. 3.1-9: Landschaftsveränderung durch Braunkohlen-KW und Hochspannungsleitungen Lippendorf (Lkr. Leipzig)
Quelle: Foto Schlegel, 14.08.2004

Die Windenergienutzung gestaltet sich immer mehr als wesentliches und wirksames Element des Klimaschutzes zur Verringerung der CO₂-Emissionen. Der deutschen Windenergieindustrie gelang es, die weltweit anerkannte Technologieführerschaft zu übernehmen. Dadurch kann die Windenergieindustrie mit der von ihr entwickelten Hochtechnologieprodukten die derzeit beginnende 4. technische Revolution (nach Autor) mit gestalten. Nur in Deutschland gibt es vier Hersteller von Windenergieanlagen mit Nennleistungen von 5 bis 6 MW!

- Technologisch – ökonomisch determinierte Faktoren

- Die **technologischen Faktoren** werden im Wesentlichen durch die Entwicklung und Verfügbarkeit von „**binnenlandoptimierten**“ WEA bestimmt. Diese zeichnen sich neben der verbesserten elektronischen Steuerung, in ihren technischen Abmessungen durch Nabhöhen von **NH = [100 – 140 (160)] m** und Rotordurchmesser von **RD = [82 – 100] m** aus.
- WEA/WP mit Gesamthöhen **$h_{ges} \leq 100$ m** können aufgrund ihres niedrigen Stromertrages nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden. Bevorzugt kommen WEA der 2 MW-Klasse zum Einsatz. Die Windleistung ist proportional der 3. Potenz der Windgeschwindigkeit (**$P_{Wind} \sim v^3$**). Gleichzeitig geht der Windstromdurchmesser **d_{wind}** (= Rotordurchmesser) quadratisch in die Windleistung ein. WEA der 2-MW-Klasse erreichen je nach Standort Stromeinsparungen bis über **6.000 MWh/a**.

- Die **wirtschaftlichen Faktoren** sind eng an die technologischen gekoppelt. Die Systemkosten für eine WEA der 2-MW-Klasse betragen zwischen **2.600.000 bis 2.900.000 Euro/WEA**. Aufgrund der erheblich gestiegenen Energie- und Werkstoffkosten (Stahl, Kupfer, Zement etc.) kann in nächster Zeit keinesfalls mit einer degressiven Kostenentwicklung bei den Herstellern von Windenergieanlagen gerechnet werden, obwohl bspw. im Turmbau neue kostengünstige Technologien zur Serienreife entwickelt wurden. Aus betriebswirtschaftlicher und umweltökonomischer Sicht geht die Forderung an Errichter und Betreiber von WEA/WP, dass eine Mindest-Volllaststundenzahl von $t_a \approx 2.500 \text{ h/a}$ „Pflicht“ ist.
- Die damit verbundene Stromerzeugung würde bei einer 2-MW-WEA mindestens 5.000 MWh/a erreichen. Mit Realisierung dieser wirtschaftlich und ökologisch sinnvollen Forderung würden ab 2009 höhere finanzielle Erträge ($k_{\text{Verg}} = 9,2 \text{ ct/kWh}$) bei den Betreibern ankommen, die dann auch zur Finanzierung des Repowering-Programms verfügbar wären.

Nachfolgend sind die wichtigsten Anforderungen für die Windenergienutzung in Sachsen aufgelistet.

- **Flächenauswahl und -ausweisung:**

- nach Windhöufigkeit
- Aufgabe von Mindestflächengrößen für VRG/EG durch die RPV
- Aufgabe der Abstandsrestriktionen zwischen Windparks
- Aufhebung von Höhenrestriktionen sowie Typenvorgaben für WEA
- Standortbezogene Abstandsfestlegung von WEA zu Wohnbebauungen bzw. zu anderen Wirkungsbereichen
- Flächenöffnung in LSG mit großen Freiräumen
- Flächenöffnung im Erzgebirge (Repowering und Neubau)
- Flächenöffnung innerhalb von Waldgebieten mit großen Freiräumen
(In Bayern werden von den Forstämtern Flächen für die Windenergie angeboten!)
- Flächenöffnung auf Truppenübungsplätzen der Bundeswehr
(Abklärung von Randflächen mit der Bundeswehr notwendig)
- Flächenöffnung auf bzw. an Gewerbe- und Industriegebieten
- Flächenöffnung in Gebieten unter Bergrecht
(Abklärung von Randflächen)
- Bereitstellung von mindestens **(0,5 – 0,6) %** der sächsische Gesamtfläche für die Windenergienutzung bis 2020
- Barrierenabbau für Repowering geeignete WEA/WP ohne VRG/EG

In der Planungsarbeit der Regionalen Planungsverbände sind umgehend grundlegende Änderungen erforderlich. Die bisherigen Regionalpläne zeichnen sich durch den Eintrag von „Behinderungs- und Verhinderungselementen“ bezüglich der Windenergienutzung aus. Teilweise sorgten die Planer der RPV dafür, dass auf zig Seiten nachgewiesen wurde, warum an diesem oder jenem Standort keine Windenergienutzung möglich ist. In den Planungsunterlagen fanden sich aber nie Versuche, Alternativen für tatsächlich ungeeignete Standorte anzubieten.

3.1.6 Mittelfristige Umsetzung bis 2012

Bei der mittelfristigen Umsetzung des vorhandenen sächsischen Windpotenzials kann von einem Stromertrag **E ≈ 2000 GWh/a** ausgegangen werden, der bis etwa 2012 realisiert werden könnte. Dazu ist die Errichtung und Inbetriebnahme der in Genehmigung und Planung befindlichen WEA ab 2009 notwendig (s. Pkt. 3.1.4, S. 18).

Das technisch-realistische Windenergiepotenzial für Sachsen wurde in mehrjährigen Studien von Anfang bis Mitte der neunziger Jahre erarbeitet und in /18/ veröffentlicht. Nach dem ab 2002 die Nutzung der Erneuerbaren Energien im LfUG wissenschaftlich und kontinuierlich über mehrere Jahre intensiv bearbeitet werden konnte, war absehbar, dass das sächsische Windpotenzial nicht kurzfristig umsetzbar ist. Aus diesem Grunde wurde im Jahr 2006 der mittelfristige Zielhorizont - etwa 2012 - für die Windenergie mit einem Jahresstromertrag von rund **2.000 GWh** angepeilt. Diese Ertragsgröße für den Windstrom basiert auf der Beobachtung und Abschätzung der sich in den letzten Jahren vollzogenen Entwicklung.

Für das Jahr 2008 besagt die Prognose eine Windstromeinspeisung in die öffentlichen Netze von $E \approx 1.530$ GWh/a. Damit ergibt sich eine Differenz von 470 GWh/a bis 2012. Unter der Annahme, dass bis Ende 2011 die in Planung befindlichen WEA genehmigt und auch errichtet werden, stehen dann 879 WEA mit einer installierten Gesamtleistung von (1.031 – 1.047) MW zur Stromerzeugung, rund 2.000 GWh/a bereit.

3.1.7 Repowering von Windenergiealtanlagen

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt lassen sich keine gesicherten Aussagen zum Repowering von WEA/WP in Sachsen vortragen. Die Klärung der Repowering-Situation bedarf einer eigenständigen Studie. Unabhängig von dieser Aussage kann eine pauschale Antwort gegeben werden /19/.

In den bisher geführten Gesprächen mit WEA/WP-Betreibern und -investoren war noch kein ausgeprägter Wille für den Ersatz von Altanlagen erkennbar. Die Argumentation wurde seitens der Betreiber in zwei Richtungen vertreten:

- Die Anlagen haben sich amortisiert, und erwirtschaften zunächst die notwendigen Finanzmittel, die für die Ersatz-WEA aufgewendet werden müssen,
- Die Betreiber und Investoren scheuen den derzeit erheblichen bürokratischen Genehmigungsaufwand, da eine erhebliche Anzahl der Altanlagen nicht innerhalb von VRG/EG errichtet wurden. Zur Erwirkung einer Baugenehmigung oder einer Genehmigung nach Immissionsschutzrecht muss oft ein aufwändiger Klageweg in mehreren Instanzen vor den Verwaltungsgerichten mit unbekanntem Ausgang beschritten werden.

Aufgrund der Novellierung des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG) darf erwartet werden, dass WEA-Betreiber und -investoren eine Neubewertung vornehmen. Im Gesetz wurde die Anfangsvergütung für Windenergiestrom auf **9,2 ct/kWh** erhöht. Der Gesetzgeber hat gleichfalls das Potenzial, welches sich aus dem Repowering der WEA/WP ergibt, voll erkannt.

Folgendes Zitat aus der Fachzeitschrift „*neue energie*“, 06/2008, S. 16 ff soll diese Aussage belegen:

„Die Regelungen zum Repowering sind vereinfacht. Werden Maschinen, die älter als zehn Jahre sind, abgebaut und das zwei- bis fünffache der Leistung neu installiert, erhalten die Neuanlagen neben der Anfangsvergütung einen Bonus von 0,5 Cent pro Kilowattstunde.“

Die Bedingung, dass WEA zehn Betriebsjahre und älter sind, wird in Sachsen von einer größeren Anzahl WEA erfüllt, die aber noch genau quantifiziert werden müsste. Die Forderung nach einer zwei- bis fünffachen Leistungserhöhung würde in jedem Fall erfüllt, da grundsätzlich bei Neuerrichtung von 2-MW-WEA ausgegangen wird.

Ohne einer abschließenden Bewertung des Repowering vorzugreifen, kann, wie aus Abb. 3.1-10 ersichtlich, die Schlussfolgerung gezogen werden, dass es sich keinesfalls um eine verzichtbare Größenordnung in der Steigerung des regenerativen Stromanteiles handelt.

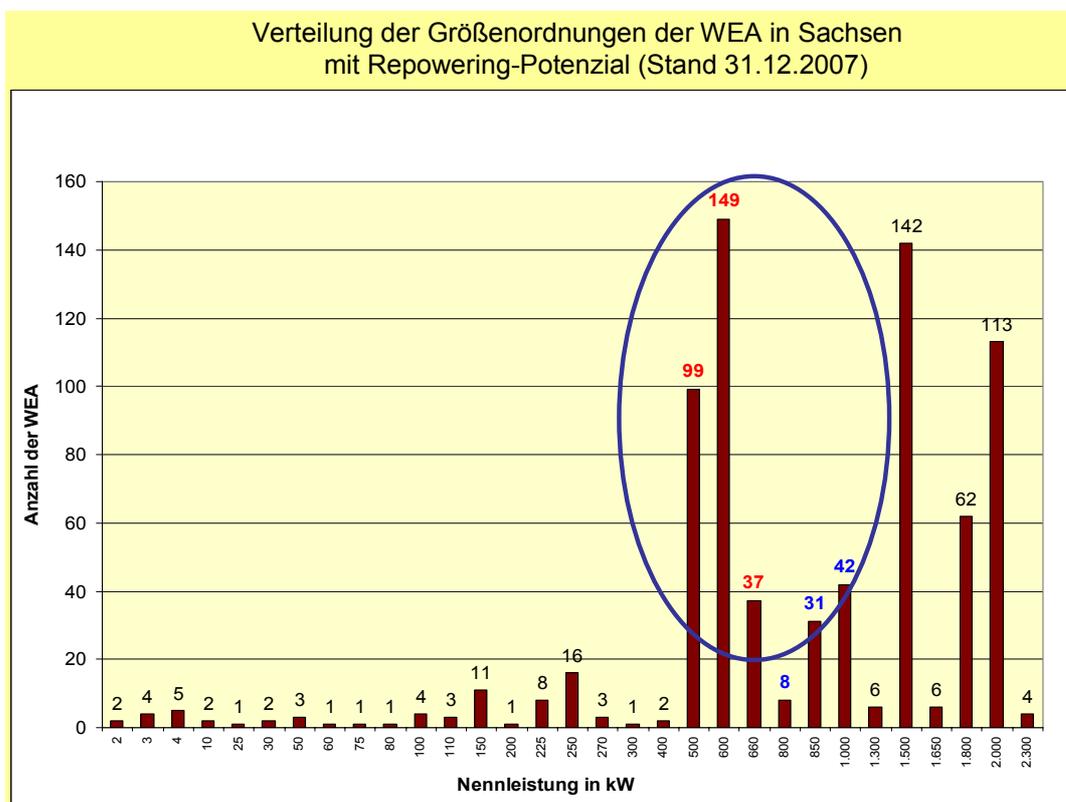


Abb. 3.1-10: Übersicht der repowerfähigen WEA in Sachsen nach Leistungsklassen
Quelle: Schlegel, Oktober, 2008

Für die Abschätzung des Repowerings wurden zunächst die in Abb. 3.1-10 markierten WEA-Leistungsklassen zwischen 500 kW und 1.000 kW berücksichtigt. Tab. 3.1-1 enthält die aufgelisteten Berechnungsdaten zur überschlägigen Ermittlung des Mehrertrages an Windstrom. Bei Berücksichtigung der kleineren WEA ab $P_N = 150$ kW kämen nochmals 22 WEA mit einer Gesamtleistung von 9,56 MW in die Untersuchung zum Repowering hinein. Genau das sollte aber der speziellen Studie vorbehalten bleiben.

Leistungsklasse in [kW]	WEA-Anzahl n_{alt}	Teilleistungen in [kW]
500	99	49.500
600	149	89.400
660	37	24.240
800	8	6.400
850	31	26.350
1.000	42	42.000
Gesamt		
$n/\Sigma P_N$	366	238.070
Volllaststunden t_a in [h/a]	Stromertrag E_{alt} in [GWh/a]	
1.772	422	

Tab. 3.1-1: Vorläufiges Repoweringpotenzial in Sachsen
Quelle: Schlegel, Oktober 2008

Nach Tab. 3.1-2 wird die Anzahl der Altanlagen halbiert und die Leistung pro WEA auf 2 MW erhöht. Gleichzeitig wird die realistische Forderung von 2.500 Volllaststunden pro Jahr angesetzt, so dass nach erfolgreichem Repowering in Sachsen jährlich mindestens 493 GWh Strom zusätzlich in die Netze eingespeist werden könnten. Eine solche Zunahme an Regenerativstrom stellt keine vernachlässigbare Größe dar. Diese Strommenge reicht in Sachsen für die ganzjährige Äquivalentversorgung von 200.000 Haushalten.

Leistungsklasse in [kW]	WEA-Anzahl n_{Rep}	Repowerleistung in [kW]
2.000	183	366.000
Volllaststunden t_a in [h/a]	Stromertrag E_{Rep} in [GWh/a]	
2.500	915 (brutto)	
	493 (netto)	

Tab. 3.1-2: Abgeschätzter Strommehrertrag durch Repowering
Quelle: Schlegel, Oktober 2008

Die unternehmerische Zurückhaltung gegenüber dem Repowering wurde schon angedeutet. In Sachsen müssten sehr schnell die rechtlichen Rahmenbedingungen dahingehend geändert werden, dass die potenziellen Repowering-Standorte den Status VRG/EG erhalten.

Das Bundesland Brandenburg hat sich in eine Vorreiterrolle begeben und im Mai 2008 die „**Energiestrategie 2020 des Landes Brandenburg**“ beschlossen. Im dazu gehörigen „**Landespolitischen Maßnahmenkatalog zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels**“ (neue energie, 06/2008) soll u. a. der Ausbau der Windenergienutzung auf eine Verdopplung der WEA-Leistung auf **7.500 MW** vorangetrieben werden. Zur Erreichung dieses Ausbauzieles „**sollen planerische und genehmigungstechnische Hindernisse beseitigt werden.**“ Weiterhin sollen die Restriktionen für das Repowering von WEA, die außerhalb von Windvorranggebieten stehen, nicht nur überprüft, sondern erleichtert werden.

3.1.8 Längerfristige Umsetzung bis 2020

Der Autor hat in /19/ insgesamt **87** konkrete Flächenvorschläge zur Neuausweisung, Erweiterung und zum Repowering bis 2020 dem SMUL, Referat 52 unterbreitet. In Tab. 3.1-3 erfolgt eine Auflistung nach den Regionalen Planungsverbänden (RPV).

RPV	Fläche A _{VRG/EG} in [ha]	WEA- Anzahl n	Leistung P _N in [MW]	Strom- erzeugung E in [GWh/a]
Westsachsen	1.630	149	298	745
Chemnitz- Erzgebirge	865	67	134	335
Südwestsachsen	510	50	100	250
Oberes Elbtal- Osterzgebirge	2.283	211	422	1.055
Oberlausitz- Niederschlesien	1.290	133	266	665
Summen	6.578	610	1.220	3.050
Umsetzung bis 2012	1.000*	100	200	500
Umsetzung bis 2020	6.578*	610	1.220	3.050
Repowering (Überschlags- berechnung)	1.830*	183	366	493**
Summen	9.408	893	1.786	4.043

* Aufsummierte Flächenanteile Windenergie; ** Abschätzung Repowering

Tab. 3.1-3: Vorschläge für WEA/WP-Flächen i. V. mit abgeleiteter WEA-Leistung und –Stromerzeugung
Quelle: Schlegel, November, 2008

Für das Repowering wurden zunächst nur zwei Flächenstandorte ausgewählt. Gemäß den textlichen Ausführungen in Pkt. 3.1.6 bedarf es der weiteren Abklärung mittels einer Studie.

In der folgenden Tab. 3.1-4 werden alle bisherigen Ergebnisse zur Windenergienutzung in Sachsen bis zum Jahr 2020 zusammengefasst.

WEA-Flächen (VRG/EG) [n_A/A_{WEA}] - Neuausweisungen - Erweiterungen - Repowering	87/6.578 ha (weitere Reserven vorhanden)
WEA - Anzahl [n] - Gesamtleistung [P_{Nges}] - Stromertrag [E_a]	950* 1.900 MW* 4.750 GWh/a *
Stromerzeugung aus WEA/WP 2008 2012 2020 (aus Neuausweisung, Erweiterung, Repowering) 2020 (Summe)	1.530 GWh/a 2.000 GWh/a 4.043 GWh/a 5.573 GWh/a
Äquivalentversorgung Haushalte (HH)	2.250.000 HH > 100 %
Anteil am Stromverbrauch 2020 2007: $E_{verb} \approx 21.000$ GWh/a (geschätzt)	22,6* bis 26,5*) %
CO₂-Reduzierung $f_{CO_2} = 0,922$ kg CO₂/kWh_{el} /14/	5,1 Mio. t/a

* WEA-Anzahl, Leistung und Stromertrag nach /18/; /19/

Tab. 3.1-4: Ergebnisübersicht Windenergienutzung bis 2020

Quelle: Schlegel, November, 2008

3.1.9 Ergebnisbewertung und Zusammenfassung

Im vorliegenden Studienteil werden praktisch alle Problemkreise der Windenergie angesprochen. Das 1997 im Abschlussbericht /18/ ermittelte technisch-realistische Windenergiepotenzial wird nach dem Kenntnisstand von 2008 erneut bestätigt. Die ursprünglichen Realisierungsmöglichkeiten haben sich aufgrund der technologischen Weiterentwicklung grundlegend verbessert. Wären 1997 für die Potenzialumsetzung von 4.750 GWh/a noch 5.360 WEA der 500-kW-Klasse notwendig, so würden heute nur noch 950 WEA der 2-MW-Klasse neuester Technologiegeneration ausreichen.

Dank intensiver Flächenbetrachtung und Bewertung aus klimaschutzfachlicher sowie technologischer Sicht gehen die Potenzialergebnisse über diejenigen von 1997 /18/ hinaus. Die dem SMUL in /19/ vorgelegten Flächenvorschläge zur schrittweisen Forcierung der Windenergienutzung stellen keineswegs das Ende der Fahnenstange dar.

Es könnten nochmals Reserveflächen erschlossen werden. Die Windstromerzeugung könnte bis zum Jahr 2020 in Sachsen auf **5.573 GWh/a** gesteigert werden. Gemessen am Stromverbrauch von 2007 mit rund 21.000 GWh, würde sich ein äquivalenter Anteil von rund **26,5 %** ergeben. Das bisher bekannte technisch-realistische Potenzial wird um **17 %** übertroffen. Das Windstromäquivalent sichert die Versorgung aller sächsischen Haushalte.

Aus ingenieurtechnischer Sicht gilt die Aussage:

„Die sächsische Windpotenzialumsetzung bis 2020 ist möglich!“

Aus klimaschutzfachlicher Sicht gilt die Aussage:

„Die sächsische Windpotenzialumsetzung bis 2020 ist dringend geboten!“

Die Stromerzeugung von rund 5.570 GWh/a würde die jährlichen **CO₂-Emissionen** in Sachsen um rund **5.100.000 t** vermindern. Das wiederum sind knapp 10 % der derzeitigen sächsischen CO₂-Emissionen.

Deutschland hat die Technologieführerschaft in der Windenergienutzung übernommen und diese Technologie zur dezentralen Stromerzeugung in den letzten zehn Jahren auf ein bis vor kurzer Zeit nicht vorstellbares Niveau angehoben. Die Windenergienutzung hat allen anderen regenerativen Energiequellen den Rang abgelaufen und wird diese Position auf längere Sicht behalten. Diese Entwicklung wird auch international als **hervorragende** ingenieurtechnische Leistung anerkannt.

Neben der Nutzung der regenerativen Energieträger Sonne, Biomasse und Wasser kommt der Windenergie in den nächsten Jahren – auch in Sachsen – eine Schlüsselstellung zu. Die technischen Potenziale der Sonnen- und Biomasseenergie übersteigen zwar das Windenergiepotenzial um das Mehrfache, allein ihre volle Realisierung wird sich wegen der niedrigeren Technologiestufe wahrscheinlich langsamer vollziehen.

Aufgrund der mehrjährigen Arbeit auf dem Fachgebiet Klimaschutz und Erneuerbare Energien, sind dem Autor die Probleme und vor allem die Schwierigkeiten bei der Windenergienutzung nur zu gut bekannt. Die Verweigerungshaltung gegenüber der Windenergie erscheint dabei am größten, stimmt aber so nicht, denn die Ablehnungsfronten werden in gleicher Weise gegen die Photovoltaik, gegen die Biomasseenergie und gegen die Wasserkraft aufgebaut.

Die Ablehnungsfronten haben sich besonders in den Bereichen **Naturschutz**, **Regionalpolitik** sowie in der **Verwaltungsbürokratie** heraus gebildet. Windenergieprojekte werden heute regelrecht vor den Verwaltungsgerichten mit teilweise jahrelanger Verzögerung erstritten. Die Gerichtsentscheidungen beziehen sich aber immer auf den Zeitpunkt der Antragstellung, so dass die Errichtung einer mittlerweile veralteten Technologiegeneration eingeklagt wird. Die Genehmigungsbehörden beharren in der Mehrzahl der Fälle auf der Einhaltung des „Status quo“, damit bleibt das ursprüngliche Ziel, die Windenergie zu verhindern, erreicht.

Zum Vergleich des Ablaufes von Genehmigungsverfahren sei folgendes Beispiel angeführt:

Der Neubau des Braunkohlenkraftwerkes Boxberg IV (BoxR) mit einer Leistung von 675 MW wurde im Zeitraum April bis Dezember 2006 durch die Genehmigungsbehörde bearbeitet und genehmigt. Der Baubeginn selbst erfolgte schon im Oktober 2006 /25/. Bei einer solch kurzen Bearbeitungszeit für dieses Großprojekt dürfte ein ganzer Stab von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus dem normalen Dienstgeschäft ausgeklinkt worden sein. Bei einer zu erwartenden Stromerzeugung von 4.900 GWh/a ist mit CO₂-Emissionen von etwa 4.500.000 t/a zu rechnen. Die Vermutung liegt sehr nahe, dass CO₂-Großemittenten gegenüber CO₂-armen Stromerzeugungsanlagen nach wie vor politisch bevorzugt werden.

Die Ziele der Europäischen Union sowie der Bundesregierung zur Eindämmung der globalen Klimaerwärmung können und müssen „vor Ort“ erreicht werden. Zuallererst ist in Sachsen die Landespolitik angesprochen. Die gesetzlichen Vorgaben aus dem „Klimaschutzpaket I“ fordern neben dem politischen Bekenntnis quantifizierte Ziele, die weit über das Klimaschutzprogramm von 2001 hinausgehen. Diese Studie kann einen Bei-trag dazu leisten.

Gegner der Windenergie und der anderen regenerativen Energieträger zeichnen sich durch die beharrliche Weigerung aus, die anthropogene Verursachung des Klimawandels und dessen wissenschaftliche Bestätigung anzuerkennen. Sie verfahren offensichtlich nach der Devise: „Wenn es die Krankheit **„Klimawandel“** nicht gibt, muss diese auch nicht therapiert werden!“

Um das Dilemma zu beenden, bedarf es der politischen Weichenstellung; hier dazu einige ausgewählte Thesen. Wir brauchen:

- **ein eindeutiges Bekenntnis der Politik/Politiker zu den Klimaschutzstrategien** (Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Klimawandelanpassung),
- **eine quantitative Zielstellungen zur Durchsetzung von Klimaschutzmaßnahmen,**
- **ein Vorranggesetz für die Errichtung und den Betrieb von EE-Anlagen in Analogie zum EEG,**
- **eine Änderung von Gesetzen, die der Windenergienutzung entgegenstehen** (Naturschutzrecht, Raumordnungsrecht, Baurecht, etc.),
- **eine verpflichtende Weiterbildung der Mitarbeiterinnen/Mitarbeiter der RPV, RPS, LRA, BM, StV, GV, Mitglieder Verbandsversammlungen, etc. auf den Fachgebieten Klimawandel, Klimafolgen und Klimaschutz,**
- **eine umfangreiche und verständliche Aufklärung der Bevölkerung.**

3.2. Solarenergienutzung

3.2.1 Historie - Sächsische Pioniere der Photovoltaik

1982 veröffentlichte **Dr. sc. techn. Ivan Boschnakow** sein Buch „SONNENENERGIE – EINE ALTERNATIVE?“ /26/. Boschnakow beschreibt in seinem Schlusswort die Vision: Vielleicht erleben die nächsten Generationen der Menschheit ein „Sonnenzeitalter“, in dem die umweltfreundliche, sich stets erneuernde Sonnenenergie sowohl im Weltall als auch auf der Erde umfassend genutzt wird. Boschnakow betreibt heute in Sachsen die Firma Wasserkraft Braunsdorf GmbH.

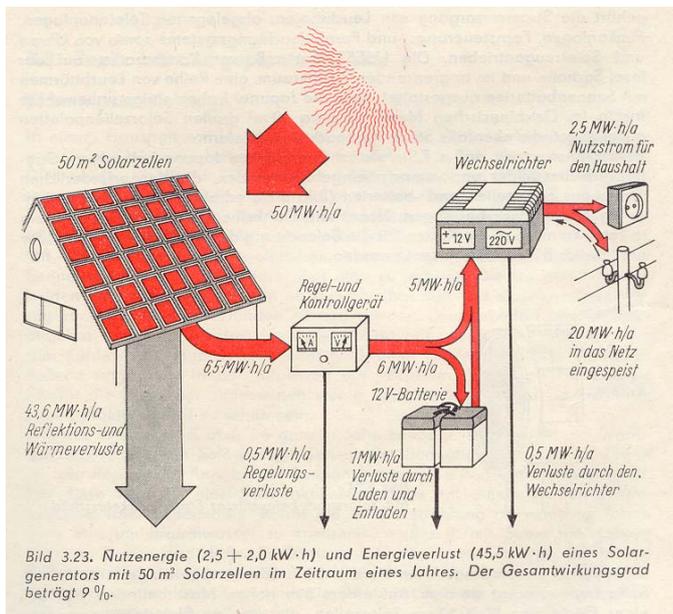


Abb. 3.2-1: Netzgekoppelte PV-Anlage nach Boschnakow

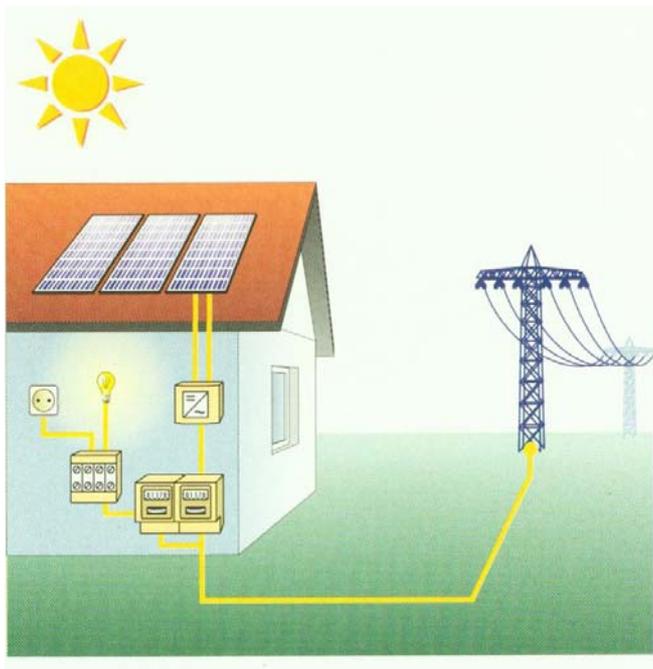


Abb. 3.2-2: Netzgekoppelte PV-Anlage nach DGS

Die erste netzgekoppelte PV-Anlage der DDR errichtete **Jens Blochberger** im Jahre 1990 in Oberseifersdorf bei Zittau auf dem Gebiet des heutigen Freistaates Sachsen. Jens Blochberger (Bild) betreibt heute in Oberseifersdorfs das Solarenergiezentrum und errichtet erfolgreich Anlagen im Bereich der erneuerbaren Energien.

Jens Blochberger, Preisträger EHICS IN BUSINESS 2005

- Vorreiter ethischen Handelns siehe www.ethics.de
- Errichter der 1. PV-Anlage der DDR / Oberseifersdorf
- Jens Blochberger hat mit seinem Solarenergiezentrum einen entscheidenden Anteil daran, dass in der Gemeinde Mittelherwigsdorf mit dem heutigen Ortsteil Oberseifersdorf die Erneuerbaren Energien den entscheidenden Anteil an der Energieversorgung des Ortes haben.



Abb. 3.2-3: PV-Pionier in Sachsen Jens Blochberger

Lothar Schlegel gründete 1993 zusammen mit seinem Partner Dr. Frank Schneider – beide ehemalige Mitarbeiter des Zentrum Mikroelektronik Dresden - die SOLARWATT Solar-Systeme GmbH. Mit Unterstützung der Wirtschaftsförderung Sachsen in Höhe von 300.000 DM entwickelte Lothar Schlegel die Gießtechnologie zur alternativen Herstellung von Solarmodulen. Heute gehört der inzwischen zur SOLARWATT AG umfirmierte Hersteller zur Spitze der deutschen Photovoltaikindustrie. Seit 2005 gehört die SOLARWATT Cells GmbH in Heilbronn, das ehemalige AEG-Halbleiterwerk, mit zum Unternehmen.

Lothar Schlegel – Gründer von SOLARWATT

Die SOLARWATT AG Dresden hat heute gemeinsam mit ihrer Tochter SOLARWATT Cells GmbH Heilbronn über 460 Mitarbeiter und einen Jahresumsatz von 300 Mio. €.

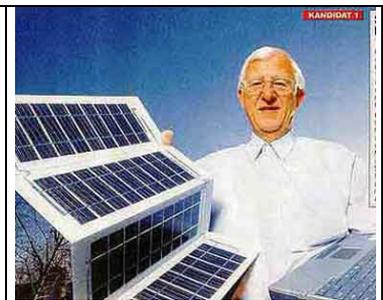


Abb. 3.2-4: PV-Pionier in Sachsen Lothar Schlegel

Ohne die sächsischen Pioniere - und die drei oben genannten sind nur eine unvollständige Auswahl - würde Sachsen heute nicht einen Spitzenplatz in der deutschen Photovoltaikbranche einnehmen.

3.2.2 Stromeinspeisegesetz und 1.000-Dächer-Programm

1991 trat in Deutschland das Stromeinspeisegesetz in Kraft. Maßgeblich an der Erarbeitung des Gesetzes war Dr. Wolfgang Daniels beteiligt, damals Bundestagsabgeordneter für die GRÜNEN und heute Präsident der VEE Sachsen e.V.. Das Stromeinspeisegesetz regelte erstmalig Anschluss und Betrieb von netzgekoppelten erneuerbaren Energieanlagen an das öffentliche Netz. Festgelegt wurden Mindestvergütungen für die Einspeisung von Strom aus Solar-, Wind-, Biomasseenergie und Wasserkraft.

Die Mindestvergütung für Solarstrom betrug 16,53 Pfennig/kWh. Der Strompreis lag damals bei 18 Pfennig/kWh. Gleichzeitig mit dem Stromeinspeisegesetz verabschiedete die Bundesregierung das **1.000-Dächer-Photovoltaik-Programm des Bundes und der Länder**. Je Flächenland waren 150 PV-Anlagen zwischen 1 und 5 kW_p auf Ein- und Zwei-Familienhäusern mit anfangs 75 % und später 70 % förderfähig. Die Stadt-Länder wie Berlin konnten je 100 PV-Anlagen fördern. In Sachsen machte 1992 die Familie Hartmann in Reichenberg bei Dresden den Anfang. Sie beauftragte eine Dresdner Fachfirma mit der Errichtung einer 5 kW_p-PV-Anlage. Alle 150 Anlagen im 1.000-Dächer-Programm wurden in Sachsen errichtet. Die Antragstellung erfolgte beim Forschungszentrum Rossendorf. Die Antragstelle arbeitete unter Leitung von *Dr. Udo Rindelhardt*. Die Antragstelle betreute die entstehende PV-Branche technisch und leistete eine beachtliche Forschungsarbeit. Nach dem Ende des 1.000-Dächer-Programmes kam es zu einem Rückgang bei der Errichtung sächsischer PV-Anlagen.

3.2.3 Kostendeckende Vergütung (KV) - Aachener Modell

Seit Anfang der 90er Jahre entwickelte der Solarenergie-Förderverein Aachen SFV e.V. unter Leitung von *Wolf von Fabeck* das Modell der Kostendeckenden Vergütung (KV). Die KV berechnete sich aus den vollständigen Kosten einer PV-Anlage, bestehend aus allen Komponenten, Installation, Netzanschluss, Service, Wartung, Finanzierungs- und Zinskosten sowie Versicherung. Gerechnet wurde mit einer Rendite, die auch mit anderen Geldanlageformen erreicht werden kann, und mit einer Laufzeit von 20 Jahren, welche die lange Lebensdauer von PV-Anlagen unterstreicht.

Die KV wurde alljährlich am Runden Tisch in Nordrhein-Westfalen neu berechnet. Sie betrug anfangs 2,02 DM/kWh und sank später auf 1,89 und 176 DM/kWh. Als erste Stadt beschloss Aachen, die Heimatstadt des SFV e.V., die kostendeckende Vergütung und beauftragte die Stadtwerke mit der Umsetzung. 20 weitere Städte folgten dem Aachener Beispiel und setzten das inzwischen unter diesem Namen bekannt gewordene Aachener Modell um.

Darunter waren die Städte Bonn, Erding, Fürstenfeldbruck, Hammelburg, München und Wedel. In der Folge kam es in diesen Städten zu einem lokal begrenzten Boom in der Photovoltaik. Sensationell und kontrovers diskutiert errichtete *Frank Asbeck* in Bonn die erste MW_p-PV-Anlage. In Hammelburg initiierte der Physiklehrer und SFV-Mitglied *Hans-Josef Fell* den Beschluss zur KV. Am 27.9.1998 wurde er für BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN in den Bundestag gewählt. Persönlich schrieb Hans-Josef Fell *das „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG)“*.

3.2.4 Das 100.000-Dächer-Programm

Am 1.1.1999 trat das 100.000 Dächer-Programm der rot-grünen Bundesregierung in Kraft. Es war im Unterschied zum 1.000 Dächer-Programm ein Kreditprogramm. Über die KfW-Bank wurden zinslose Kredite ausgereicht. Die letzte von acht Kreditraten entfiel dabei. Das 100.000-Dächer-Programm führte allein noch nicht zu einem bundesweiten Boom in der PV-Branche. Stattdessen kam es in den Monaten vor und nach der Einführung zur Zurückhaltung in der Auftragserteilung und zu einem Firmensterben in der PV-Branche. Zum Sprichwort wurde: *„Willst Du einer Branche schaden, brauchst Du nur ein Förderprogramm **ankündigen!**“*.

3.2.5 Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG)

Am 1. April 2000 trat das EEG in Kraft. Es entstand auf der Grundlage des Stromeinspeisegesetzes und der Kostendeckenden Vergütung (KV). Durch das Stromeinspeisegesetz hatte sich insbesondere die Windenergienutzung in den Küstenregionen rasch entwickelt. Die nördlichen Netzbetreiber, wie die SCHLESWAG, mussten zunehmend mehr Strom aus Windenergieanlagen (WEA) aufnehmen und vergüten. Die Überschreitung der im Stromeinspeisegesetz auf 5 % begrenzte Ungleichbelastung der Netzbetreiber stand bevor. Der Gesetzgeber reagierte und beschloss das EEG. In diesem Gesetz ist eine Ausgleichsregelung der Ungleichbelastung von Netzbetreibern über die Übertragungsnetzbetreiber festgeschrieben. Damit wurden alle Netzbetreiber gleichmäßig in die Vergütung des Stromes aus Erneuerbaren Energien (EE) einbezogen und eine Wettbewerbsverzerrung vermieden.

Die Vergütung des eingespeisten Solarstromes wurde auf **99 Pfennig/kWh** erhöht. In Verbindung mit dem zinslosen KfW-Kredit des 100.000-Dächer-Programms bedeutet dies die bundesweite Einführung des Aachener Modells, der Kostendeckenden Vergütung von Solarstrom. Das Bundeswirtschaftsministerium sorgte sofort nach dem Inkrafttreten des EEG für eine viermonatige Verzögerung des PV-Booms, indem es das 100.000-Dächer-Programm zeitweilig außer Kraft setzte. Erst im August bewilligte die KfW wieder Kreditanträge. Der Wegfall der letzten Kreditrate wurde gestrichen und der zinslose Kredit zu einem zinsgünstigen Kredit herabgestuft.

Trotz alledem entwickelte sich die Photovoltaik in Deutschland und auch speziell in Sachsen ab August 2000, getragen vom EEG und dem 100.000-Dächer-Programm, bis Mitte 2003 sehr gut. Geplant war das Programm für einen Zeitraum bis Ende 2005. Wegen der enormen Inanspruchnahme des Programms durch Bürger und Investoren waren die geplanten Kreditmittel allerdings bereits weit vor diesem Zeitpunkt, nämlich bereits am 30.06.2003 ausgeschöpft.

PV-Anlagen mit einer Leistung von 300 MW_p konnten auf Basis des 100.000-Dächer-Programms in Verbindung mit dem EEG errichtet werden. Die Vergütung im EEG reduzierte sich im Jahre 2003 planmäßig durch zweimalige Degression 2002 und 2003 auf **47,7 Cent/kWh**. Mit einer weiteren Degression 2004 und ohne 100.000-Dächer-Programm wäre die PV-Nutzung zum Erliegen gekommen. Der Deutsche Bundestag reagierte und beschloss mit dem sogenannten Vorschaltgesetz eine 1. Novellierung des EEG. Statt eines neuen Förderprogramms erhöhte man die Vergütung des Solarstromes auf **57,4 Cent/kWh**. Befreit von den störenden bürokratischen Hemmnissen des 100.000-Dächer-Programms wurden in Sachsen allein im Jahre 2004 fast dreimal mehr PV-Anlagen errichtet, als insgesamt seit 1990 an das Netz gegangen waren. Die-ser Trend setzte sich 2005 bis 2007 fort, wenn auch nicht mehr ganz so explosiv.

3.2.6 Vergleich in Europa – aktueller Stand 2008

Nicht nur Solarmodule, Solartechnik und Solaranlagen werden vom Exportweltmeister Deutschland exportiert, sondern auch das EEG selbst. Am 11. Oktober 2007 schrieb dazu die Financial Times Deutschland:

Das EEG "...ist eine der raren Erfolgsgeschichten der rot-grünen Koalition, die über die Parteigrenzen hinweg noch heute breite Zustimmung findet. Es ...machte Deutschland zum führenden Industriestaat beim Ausbau einer alternativen Energieversorgung..."

Gesetzliche Regelungen, ähnlich dem deutschen EEG, wurden in Belgien, Bulgarien, Griechenland, Frankreich, Italien, Österreich, Spanien, Tschechien und Zypern beschlossen. Je nach Ausprägung, eventuell vorhandener Deckelung und bürokratischen Hemmnissen entwickeln sich die Märkte unterschiedlich, wie in folgender Tabelle aufgezeigt.

Ausgewählte Länder	Solarstromvergütung in Ct/kWh (20 Jahre, vereinfacht)	Bemerkungen
Deutschland	35,49 – 46,75	je nach Anlagentyp und -größe
Frankreich	30 + 25 (Gebäudeintegrationsprämie)	Zusätzlicher Inflationsausgleich in den Folgejahren
Griechenland	40,28 – 50,28	je nach Standort und Anlagengröße
Italien	36 - 49	je nach Anlagentyp und -größe
Spanien	23 - 44	je nach Anlagengröße
Tschechien	ca. 50	in Abhängigkeit vom Kurs der Krone

Tab. 3.2-1: Solarstromvergütung in ausgewählten Ländern über 20 Jahre (vereinfacht)

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit erstellte eine Internetseite über Rechtsquellen Erneuerbarer Energien. Unter www.res-legal.eu können die gesetzlichen Regelungen in den einzelnen EU-Ländern gezielt gesucht und auch untereinander verglichen werden.

3.2.7 PV in Sachsen – aktueller Stand 2008

3.2.7.1 Die sächsische Photovoltaik als Teil des „Solarvalley Mitteldeutschland“

Der Cluster „**Solarvalley Mitteldeutschland**“ will durch die Optimierung von Prozessen und Produkten entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Photovoltaik seinen Technologievorsprung gegenüber internationalen Wettbewerbern vergrößern und neue Märkte erschließen. Durch Ansiedelung weiterer Unternehmen und Zulieferer soll ein jährliches Wachstum von 30 % erreicht werden.



Abb. 3.2-5 Übersicht der PV-Industrie in Sachsen

3.2.7.2 PV-Industrie

„Wacker schafft 450 neue Arbeitsplätze in Nünchritz“ lautete kürzlich eine Überschrift in der Sächsischen Zeitung (SZ). Für die Photovoltaik ist dies eine Sternstunde. Der bisher einzige Hersteller von Solarsilizium in Deutschland, die Wacker Chemie AG, - deren Stammwerk sich in Burghausen (Bayern) befindet - wird ein neues Werk in der Gemeinde **Nünchritz** bei Riesa (Lkr. Meißen) errichten.

Die ab 2011 geplante Produktionsmenge von **10.000 t/a** Solarsilizium würde ausreichen, um die im gesamten Jahr 2008 in Deutschland installierte PV-Leistung aus kristallinen Si-Modulen (ca. **1.100 MW_p**) zu produzieren.

Solarsilizium steht am Anfang der technologischen Kette in der PV-Industrie. Dieses Material ist der Flaschenhals der PV-Industrie, oder wie man früher sagte, der Engpass. Weltweit verfügt nur eine überschaubare Anzahl von Herstellern in Deutschland, Russland, USA, Norwegen und Japan über das **know how** und, ganz entscheidend, über die Finanzkraft zur Herstellung von Solarsilizium. In Nünchritz plant die Wacker Chemie AG eine Investsumme von 760 Millionen Euro.

Wacker Chemie arbeitet nach dem Siemens-Verfahren, bei dem aus ausreichend vorhandenem metallurgischen Silizium das Solarsilizium gewonnen wird. In einem geschlossenen Prozess schlägt sich dabei über den Umweg der Gasphase das Silizium als hochreines Solarsilizium an einer Elektrode nieder.

Mehrere Hersteller versuchen heute, dieses aufwändige Verfahren zu umgehen und bereits das metallurgische Silizium in für Solarsilizium genügender Reinheit herzustellen. In der Branche verfolgt man diese Bemühungen mit großer Aufmerksamkeit. Eine weitere Kostensenkung wäre damit möglich. Aber es gibt auch technische Risiken, für die noch Lösungen zu finden sind.



Abb. 3.2-6: Presse-Ankündigung der Wacker Chemie AG
Quelle: Sächsische Zeitung vom 18.10.2008

In Tab. 3.2-2 ist die sächsische siliziumbasierte PV-Industrie mit ihren Anteilen an den Prozessstufen dargestellt.

Technologische Schrittfolge	Sächsische Firmen als Beispiel
Solarsilizium	Wacker Chemie AG - Nünchritz
Blöcke	Deutsche Solar AG - Freiberg
Ingots (Barren)	Deutsche Solar AG - Freiberg
Wafer	Deutsche Solar AG - Freiberg
Zellen	Deutsche Cell GmbH - Freiberg
Module	SOLARWATT AG - Dresden
Wechselrichter	Kein Anbieter in Sachsen
Befestigungssysteme	EEG GmbH - Dresden
Planung	Ingenieurbüro Dr. Scheffler & Partner GmbH - Dresden
Installation	SunStrom GmbH - Dresden

Tab. 3.2-2: Übersicht sächsischer PV-Hersteller nach Prozessstufenbeteiligung

Folgende produzierende PV-Firmen sind in Sachsen vertreten:

PV-Firmen	Standort	Geschäftszweig	Produktion in MW_p 2008	Ausbau- ziele in MW_p
AIS Automotion Dresden GmbH*	Dresden	Fabrikautomation für die PV-Industrie		
ALOTec GmbH*	Dresden	Lasertechnologie für die PV-Industrie		
ARISE Technologies Corporation	Bischofs- werda	Solarzellen	35	2013: 360
Avancis GmbH & Co.KG	Torgau	Dünnschicht- Module CIS	Start: 15.10.2008	2009: 20
Deutsche Cell GmbH	Freiberg	Solarzellen		2010: 200
Deutsche Solar AG	Freiberg	Si-Wafer	500	2010: 1.000
Dr. Sol – Solar- systeme GmbH	Leipzig	Module und Kollektoren	k. A.	k. A.
EEG GmbH	Dresden	Befestigungs- systeme	1	k. A.
FHR Anlagen- bau GmbH*	Ottendorf- Ockrilla	Beschichtungs- maschinen	Centrotherm photovoltaics group	
Freiberger Compound Materials GmbH	Freiberg	GaAs-Wafer	k. A.	k. A.
Heckert Solar GmbH	Chemnitz	Module, Systeme,	40 (geschätzt)	2009: 60
Heliatek GmbH	Dresden	Organische Zellen		2015: Start ?
Ingenieurbüro Dr. Scheffler & Partner GmbH	Dresden	Planung speziell denkmalgerechter PV-Anlagen	k. A.	k. A.
Joint Solar Silicon GmbH & Co. KG	Freiberg	Solarsilizium		2009: 850 t/a für ca. 85
MEREG GmbH	Delitzsch	Module	k. A.	k. A.
Roth & Rau AG*	Hohenstein- Ernstthal	Ausrüstungsbauer Solarzellen- fertigung	weltweit führendes Unternehmen	Roth & Rau AG*
Scheuten SolarWorld Silizium GmbH	Freiberg	Solarsilizium aus metallurgischem Silizium		Geplant: 1.000 t/a für ca. 100

Fortsetzung

Schmid Silicon Technology GmbH	Spreewitz	Solarsilizium		2010: 1.000 t/a für ca. 100
Signet Solar GmbH*	Mochau	α -Si-Dünnschicht-Module	Start: 15.10.2008	2010: 130
Solar Factory GmbH	Freiberg	Module	50	50
Solarion AG*	Leipzig	Flexible ultra-leichte Dünnschicht-Module/ Zellen	k. A.	k. A.
Solarpower GmbH	Plauen	Module und Kollektoren	k. A.	k. A.
Sunfilm AG*	Großröhrsdorf	α -Si-Dünnschicht-Module	Start: Herbst 2008	2010: 120
SunStrom GmbH*	Dresden	Großinstallateur	20 (Installation)	k. A.
VON ARDENNE Anlagentechnik GmbH*	Dresden	Ausrüstungs- bauer für Dünnschicht- solarmodule	weltweit führendes Unternehmen	
Wacker Chemie AG	Nünchritz	Solarsilizium		2011: 10.000 t/a für ca. 1.000
WPI Wafer Production International	Schkeuditz	Waferherstellung	k. A.	k. A.

Tab. 3.2-3: Übersicht PV-Hersteller verschiedener Technologiestufen

*Partner des Spitzenclusters Solarvalley-Mitteldeutschland www.solarvalley.org

3.2.7.3 PV-Forschung

Die Forschung auf dem Gebiet der Photovoltaik ist in Sachsen in folgenden wissenschaftlichen Einrichtungen vertreten:

Einrichtung	Ort	Forschungsschwerpunkt
*TU Bergakademie Freiberg Institut für experimentelle Physik Prof. Hans-Joachim Möller	Freiberg	Grundlagen und angewandte Forschung an Solarzellen- materialien, kristallines Silizium, flache Wafer
*Fraunhofer-Institut für keramische Technologien und Systeme IKTS Prof. Alexander Michaelis	Dresden	Keramische Dickschicht- technologie für die Photovoltaik
*Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP	Dresden	Beschichtung flexibler Solarzellen
*TU Dresden Institut für angewandte Photophysik IAP Prof. Dr. Karl Leo u.a.	Dresden	

*Partner des Spitzenclusters Solarvalley-Mitteldeutschland www.solarvalley.org

Tab. 3.2-4: Übersicht PV-Forschungseinrichtungen Sachsen

3.2.8 Voraussetzungen für solare Nutzung

Voraussetzung für die solare Nutzung durch photovoltaische und/oder solarthermische Anlagen ist die Globalstrahlung (**G**), die regional oder lokal auf die Erdoberfläche auftrifft. Die Globalstrahlung setzt sich als Summe aus der direkten und der diffusen Strahlung zusammen. Direkte Strahlung tritt bei wolkenlosem Himmel, diffuse Strahlung bei bewölktem Himmel, bzw. bei Tageslicht auf. Die Globalstrahlung selbst ist wesentlich abhängig vom Jahreslauf der Sonne. Deshalb erreichen die Strahlungswerte in den Sommermonaten ihr Maximum und in den Monaten mit niedrigem Sonnenstand ihr Minimum. Weiterhin hängt die Größe der Globalstrahlung von weiteren Faktoren ab:

- Abstand zum Meer
- Höhenlage über NN
- Nebelhäufigkeit
- Industrietätigkeit (Aerosole, Kühltürme von Kraftwerken)
- Verschattungen etc.

Im Zeitraum 1991 bis 2005 wurde in Sachsen eine Zunahme der Globalstrahlung festgestellt /1/. Diese Periode weist auch eine höhere Homogenität der Strahlung gegenüber der Referenzperiode von 1961 bis 1990, bei einem ausgeprägteren West-Ost-Gradienten, auf. Die Zunahme der Strahlung ist offenbar auf die veränderte industrielle Situation in Sachsen zurückzuführen, da die bis 1990 vorherrschende starke Luftverschmutzung beseitigt wurde.

Die Globalstrahlung wird in **kWh/(m² a)**, bezogen auf die ebene Fläche gemessen. Die Spanne der Mittelwerte reicht von **1.070 kWh/(m² a)** im Vogtland bis **1.090 kWh/(m² a)** am Ostrand von Sachsen sowie auf dem Kamm des Erzgebirges.

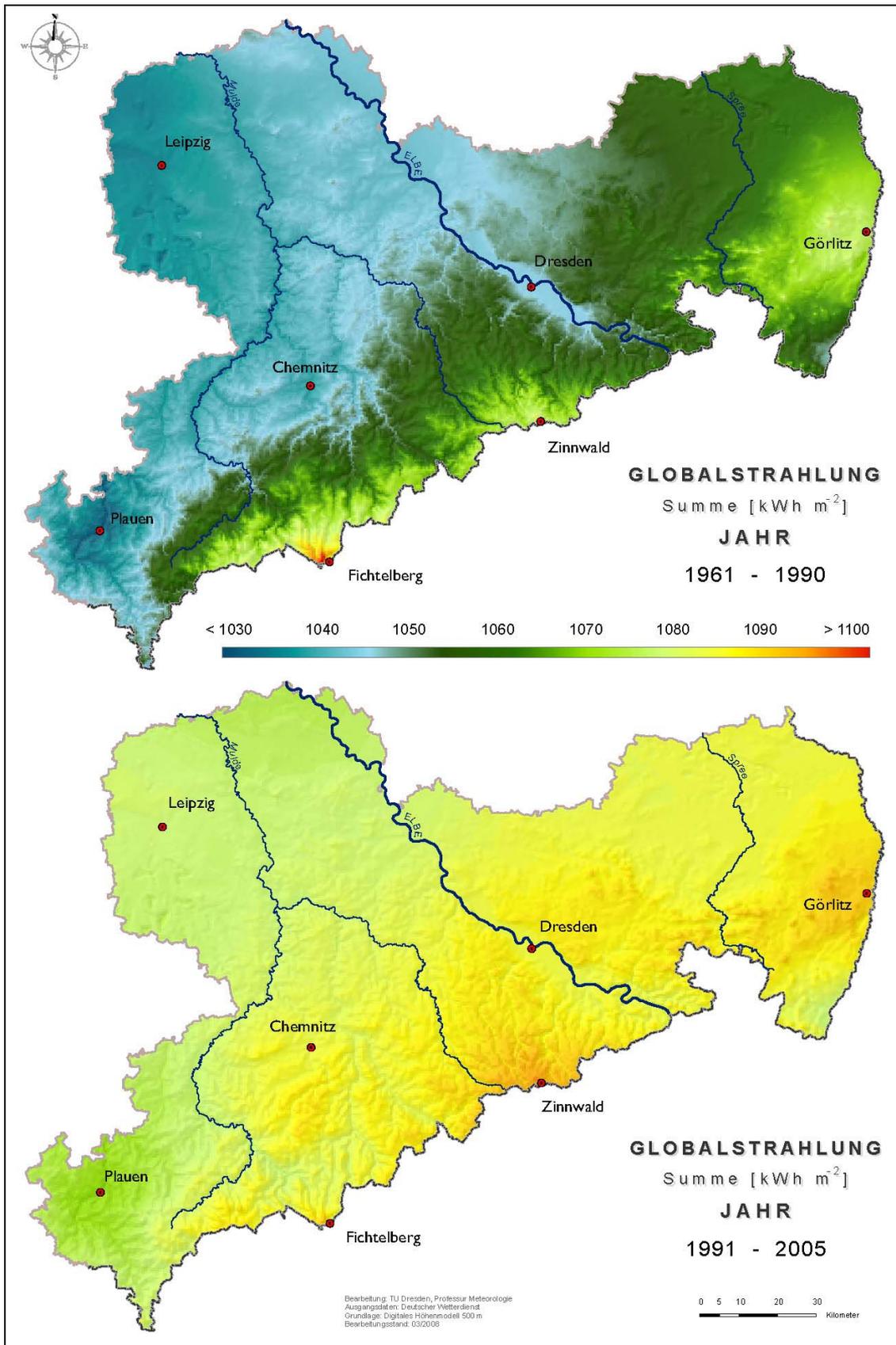
Hier einige Langzeitwerte für **G** (1991 – 2005) von ausgewählten Stationen nach /1/:

Chemnitz	1.086,3 kWh/m²
Dresden	1.087,8 kWh/m²
Fichtelberg	1.091,7 kWh/m²
Görlitz	1.100,9 kWh/m²
Leipzig	1.077,6 kWh/m²
Plauen	1.070,7 kWh/m²
Zinnwald	1.076,2 kWh/m²

Diese Daten belegen, dass in Sachsen - auch im Vergleich zu den anderen Bundesländern - recht gute Voraussetzungen für die Nutzung der Solarenergie bestehen. Ertragsauswertungen von PV-Anlagen unterschiedlicher Größenordnungen bestätigen das.

In den Karten 3.2-1 und 3.2-2 sind die mittlere Globalstrahlung für die Zeiträume 1961 bis 1990 und 1991 bis 2005 dargestellt. Hierbei handelt es sich um die aktuellste Datenauswertung und Zusammenstellung, veröffentlicht im „Sächsischen Klimaatlas“ /1/.

Die Datenlage ermöglicht zumindest eine Vorauswahl für die Errichtung von PV-Anlagen. Potenzielle Investoren sollten aber unbedingt eine Vorortanalyse von einem autorisierten Ing.-Büro erstellen lassen.



Karte 3.2-1: Mittlere Globalstrahlung in Sachsen, Zeitraum 1961 – 1990
 Karte 3.2-2: Mittlere Globalstrahlung in Sachsen, Zeitraum 1991 – 2005
 Quelle: TU Dresden, 2008, /1/

3.2.9 PV-Anlagen

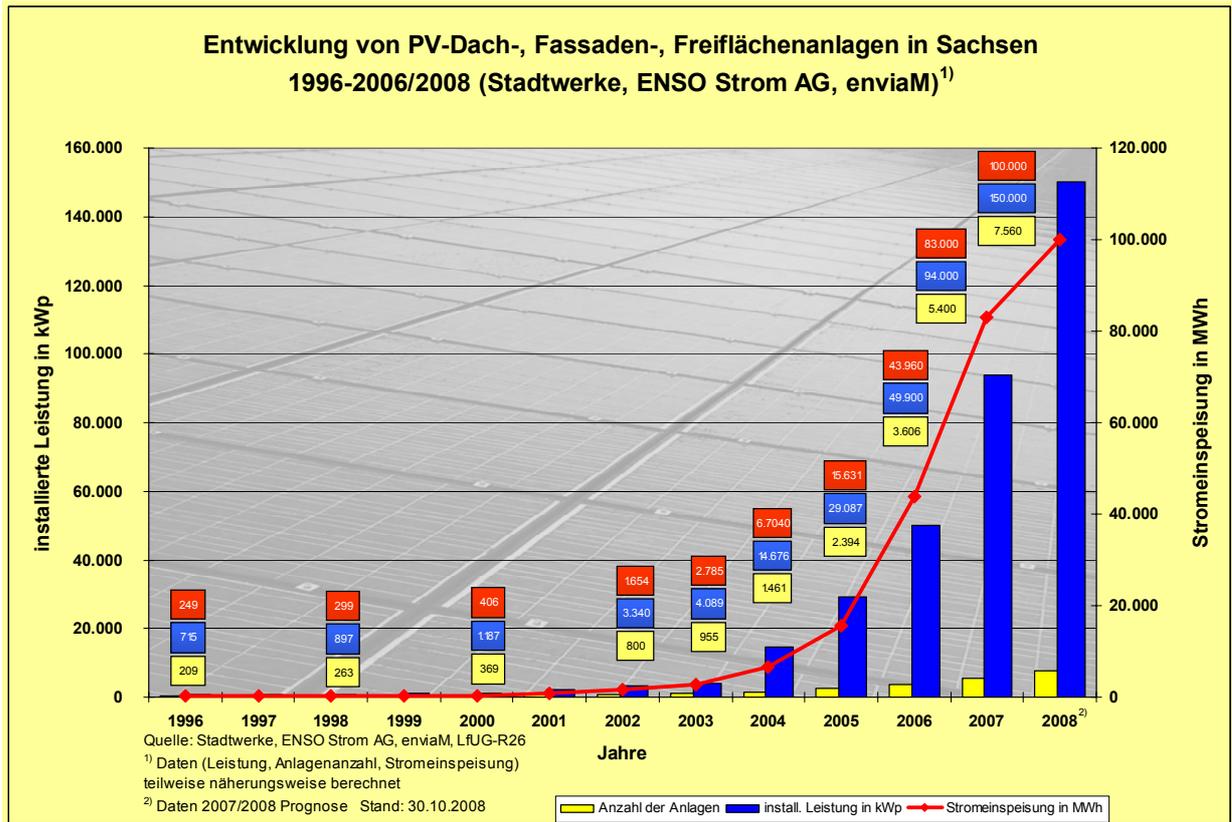


Abb. 3.2-7: Entwicklung der PV-Anlagen in Sachsen von 1996 – 2008, Stand 10/2008
Quelle: Schlegel

Die statistische Erfassung der PV-Anlagen gestaltet sich nach wie vor schwierig, da die Anlagen nicht einfach beim Statistischen Landesamt Sachsen (StaLA) oder bei den Energieversorgungsunternehmen (EVU) abrufbar sind. Während die PV-Kraftwerke in der Regel ab einer Spitzenleistung von **500 kW_p**, datenmäßig gut erfasst sind, können alle anderen PV-Anlagen (vorwiegend Dach-, Fassaden- und kleine Freiflächenanlagen) nur durch Hochrechnung abgeschätzt und mit einer Verzögerung von etwa zwölf Monaten mit Daten des Statistischen Landesamtes Sachsen abgeglichen werden.

In Abb. 3.2-7 wurde die Entwicklung der Photovoltaik für den Zeitraum 1996 bis 2008 grafisch dargestellt. Ab 2004 ist ein deutlicher - EEG bedingter - Entwicklungsschub feststellbar. Bis 2006 handelt es sich um ausgewertete Daten. Für die Jahre 2007 und 2008 wurden die Daten hochgerechnet, so dass eine gewisse Datenunsicherheit nicht zu vermeiden ist. Obwohl PV-Anlagenanzahl und PV-Leistung jährlich um 50 % bzw. um 70 % zugenommen haben, wurden für den PV-Anlagenzuwachs 2008 nur **40 %** geschätzt. Die Zunahme der installierten PV-Gesamtleistung erreicht 2008 rund **60 %!**

Der Knick der für 2008 erwarteten PV-Stromerzeugung ist weniger auf Datenunsicherheit zurückzuführen. Hier ergibt sich die Tatsache, dass zahlreiche Anlagen, vor allem im PV-KW-Bereich erst gegen Jahresende an das Netz gehen. Dafür stehen diese Anlagen für die Folgejahre uneingeschränkt zur Verfügung.

Tabelle 3.2-5 und Karte 3.2-3 geben Auskunft über die sächsischen PV-Kraftwerke. Tabelle 3.2-5 beinhaltet einen weitgehend aktualisierten Stand vom Oktober 2008 und Karte 3.2-3 zeigt Stand und Verteilung der PV-Kraftwerke vom 31.12.2007.

Im Vergleich von Tab. 3.2-5 und Karte 3.2-3 wird ersichtlich, dass dieses Jahr die Anzahl um fünf auf 27 PV-KW zugenommen und der Leistungszuwachs bei den Großanlagen rund **25,8 MW_p** erreicht hat. Da einige PV-Anlagen zurzeit neu errichtet, bzw. ausgebaut werden, wird die PV-Leistung der Großanlagen bis Ende Dezember 2008 um insgesamt **35,8 MW_p** ansteigen.

Die hochgerechneten Werte zum Jahresende 2008:

PV-Anlagen: **$n_{\text{ges}} \approx 7.560$**
 Leistung: **$P_{\text{ges}} \approx 150 \text{ MW}_p$**

Mit dieser installierten Leistung kann der zu erwartende Jahresstromertrag 2009 in der Größenordnung von rund **135.000 MWh** prognostiziert werden! Das würde für einen Anteil von **0,64 %** am sächsischen Jahresstromverbrauch ausreichen.

Landesdirektion	Landkreis	PV-Anlagen Anzahl	Leistung In kWp
Chemnitz	Chemnitz, Stadt	2	2.248
Chemnitz	Erzgebirge	0	0
Chemnitz	Mittelsachsen	5	6.414
Chemnitz	Vogtlandkreis	0	0
Chemnitz	Zwickau	7	6.139
Dresden	Bautzen	3	8.390
Dresden	Dresden, Stadt	0	0
Dresden	Görlitz	1	330
Dresden	Meißen	1	1.400
Dresden	Sächsische Schweiz- Osterzgebirge	0	0
Leipzig	Leipzig, Stadt	0	0
Leipzig	Leipzig	6	44.815
Leipzig	Nordsachsen	2	7.800
	Sachsen	27	77.536

Tab. 3.2-5: Übersicht der PV-Kraftwerke Sachsen
 Quelle: Schlegel, Oktober 2008

In den Landkreisen Erzgebirge und Vogtland befinden sich mehrere PV-KW im MW_p-Leistungsbereich in Planung. Mit deren Realisierung wird im Jahr 2009 gerechnet.



Abb. 3.2-9: PV-KW „Meerane II“ (Z) – Lärmschutzwall an der BAB A 4 – $P = 1.728 \text{ kW}_p$
Quelle: Foto, Lehner, Mai, 2006



Abb. 3.2-10: PV-KW „Borna-West“ (L) – $P = 3,44 \text{ MW}_p$ – Zweifache Modulnachführung
Quelle: Foto, Schlegel, 24.05.2006



Abb. 3.2-11: PV-Dachanlage im Gewerbegebiet Döbeln-Ost (Lkr. Mittelsachsen),
 $P_{\text{ges}} \approx 900 \text{ kWp}$;
 Quelle: Solar-Wagner, Choren/DL, 2006



Abb. 3.2-12: PV-Dachanlage Grunau (Lkr. Mittelsachsen); $P = 15,75 \text{ kWp}$
 Quelle: Foto, Schlegel, 03.04.2005

Die Abb. 3.2-8 bis 3.2-10 vermitteln einen hervorragenden optischen Eindruck der sächsischen PV-Entwicklung. Das PV-KW „Waldpolenz“ war im Oktober mit einer Leistung von 32 MWp am Netz und damit das derzeit größte der Welt. Am Jahresende 2008

wird die endgültige (evtl. vorläufige) Leistung mit 40 MW_p erreicht. Die Gesamtkosten werden vom Investor *juwi solar AG* mit **130 Mio. Euro** angegeben. Die prognostizierte Sonnenstromernte soll **40.000.000 kWh/a** erbringen. Der spezifische Stromertrag liegt bei **e ≈ 1.000 kWh/kW_p**. Zur besseren Anschaulichkeit: Diese Strommenge reicht aus, um in Sachsen etwa 16.200 Haushalte ganzjährig zu versorgen. Die verwendeten CdTe-Dünnschichtmodule wandeln auch an strahlungsschwachen Tagen das Licht mit hoher Effizienz in elektrischen Strom um.

Die hohe Effizienz der CdTe-PV-Module kann am besten an einem Stromertragsdiagramm nachgewiesen werden. In Abb. 3.2-13 erfolgt der Vergleich von zwei PV-KW im Multi-MW-Leistungsbereich. PV-KW (rot) ist mit kristallinen Si-Modulen und PV-KW (blau) ist mit CdTe-Dünnschichtmodulen ausgerüstet. In den jeweiligen Monaten ergeben sich nur geringfügige Unterschiede in der Stromerzeugung. Die beiden Großanlagen sind praktisch gleichwertig. Die Dünnschichtmodule sind aber kostengünstiger.

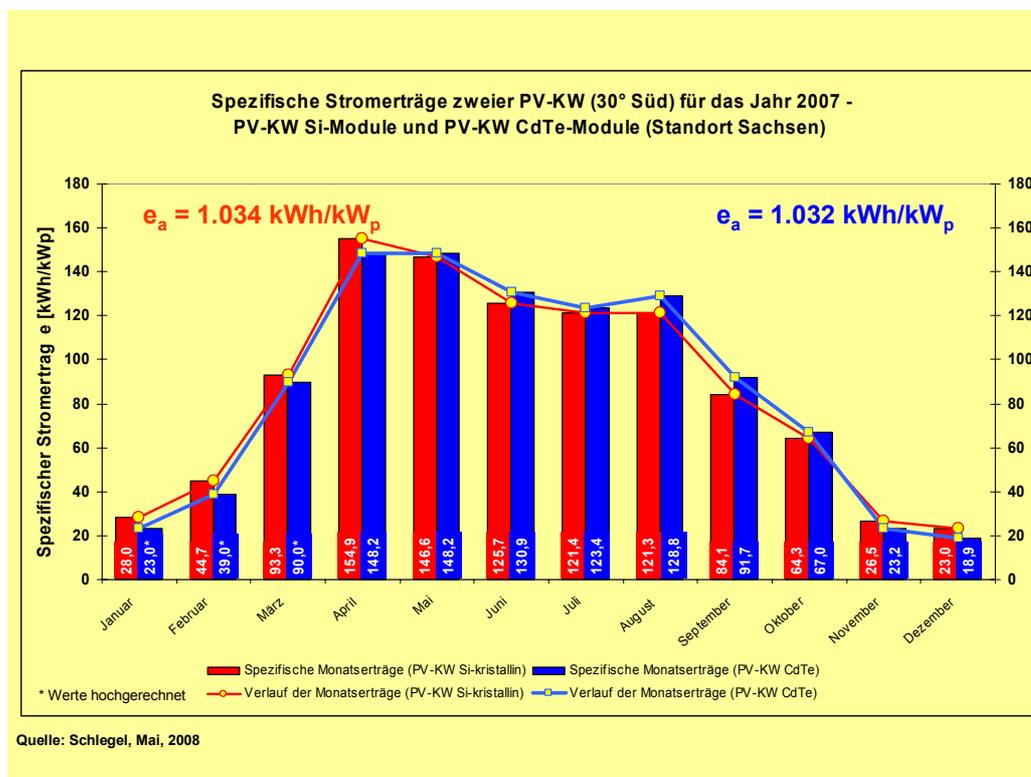


Abb. 3.2-13: Stromertragsvergleich zwei sächsischer PV-KW 2007
Quelle: Schlegel, Mai, 2008

In den Abb. 3.2-14 und 3.2-15 erfolgt der Vergleich von zwei weiteren PV-KW aus Sachsen. PV-KW (rot) mit starr nach Süden (30° Neigung) ausgerichteten und PV-KW (blau) mit zweifach nachgeführten auf die Sonne ausgerichteten Modulen. Das PV-KW mit zweifacher Nachführung erzielt, insbesondere in den Sommermonaten, die größten Stromertragszuwächse. Im Jahresdurchschnitt 2007 betrug der Mehrertrag 28,4 %. Die in Sachsen zu erwartende Mehrertragsspanne liegt etwa zwischen 25 bis 30 % im Jahr.

Die aus den Diagrammen gewonnene Datenkenntnis der spezifischen Stromerträge ist wichtig für die Berechnung des solaren Strompotenzials.

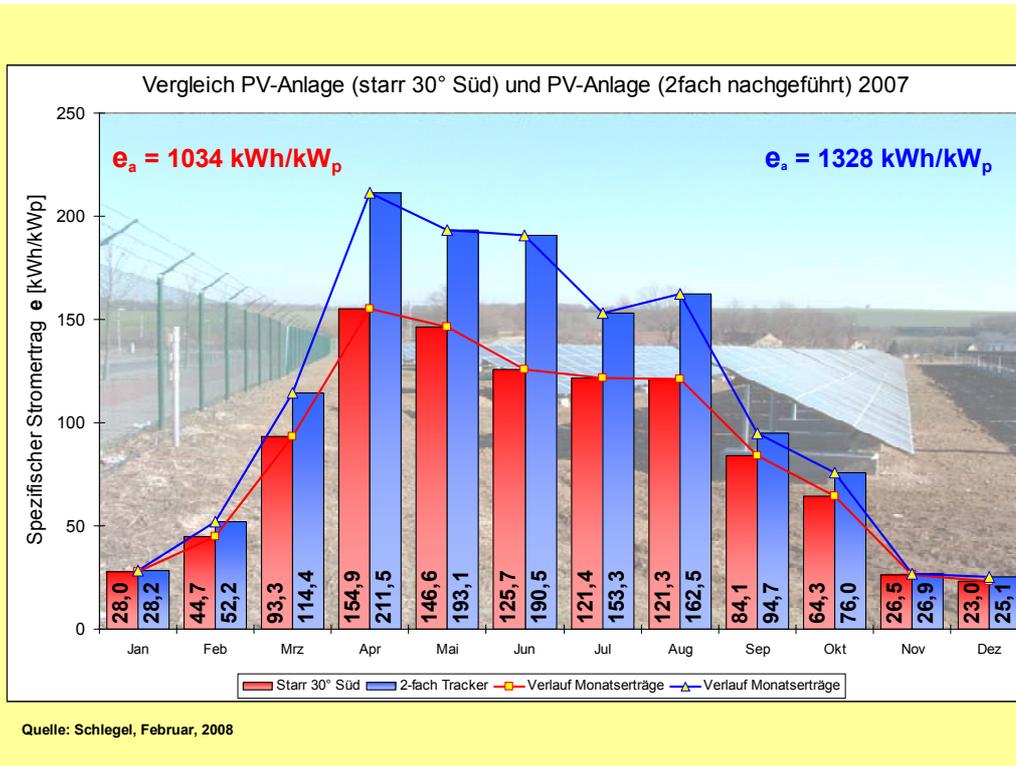


Abb. 3.2-14: Vergleich der spezifischen Stromerträge von zwei PV-KW
Quelle: Schlegel, Februar, 2008

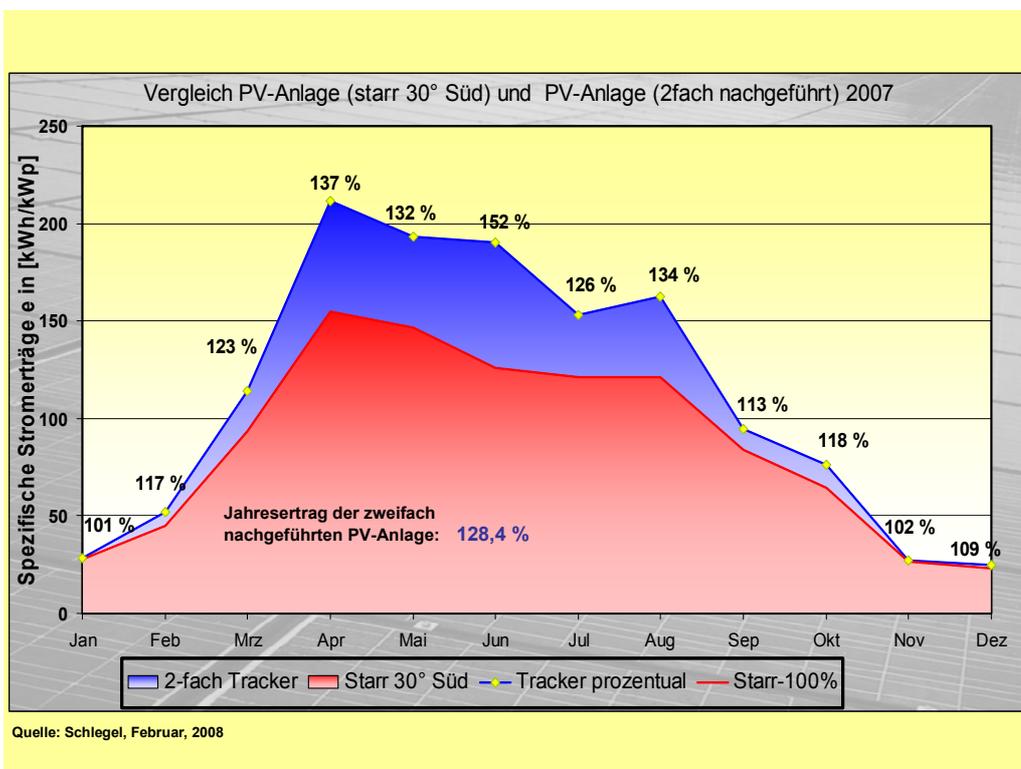


Abb. 3.2-15: Vergleich der prozentualen Stromerträge von zwei PV-KW
Quelle: Schlegel, Februar, 2008

3.2.10 PV-Anteil am Elektroenergieverbrauch 2008

Nach Abb. 3.1-2, S. 11 beträgt die für das Jahr 2008 prognostizierte Stromeinspeisung etwa 100 GWh. Der Anteil am Stromverbrauch erreicht **0,47 %**. Für 2009 kann bereits eine Einspeisung von etwa 135 GWh erwartet werden. Der PV Stromanteil steigt dann auf **0,64 %**. Das sind noch keine berauschenden Daten, allerdings bringt der PV-Strom Zuwachsraten, die von den anderen erneuerbaren Energieträgern nicht übertroffen werden können. Gegenüber dem Jahr 2004 wird die Einspeisung 2008 den **14,9-fachen** Ertrag bringen.

3.2.11 PV-Entwicklung in Sachsen bis 2020

3.2.11.1 Einschätzung des technisch realistischen Solarpotenzials

Welche Flächen stehen **qualitativ** für die Nutzung mit PV-Anlagen zur Verfügung?

a) Gebäudegebundene Flächen

- Flachdächer (Fabrikhallen, Stallungen, Wohngebäude, Stadien etc.)
- Schrägdächer mit verschiedenen Neigungswinkeln
- Fassaden (Vorhang- und integrierte Fassaden)

b) Freiflächen

- Minderwertige Landwirtschafts- oder Brachflächen
- Industriebrachen (z. B. Kohleveredler, Chemiebetriebe etc.)
- Abraumhalden und Deponiekörper
- Konversionsflächen (ehemalige Militärliegenschaften, z.B. Flughäfen etc.)

Welche Flächen stehen **quantitativ** für die Nutzung mit PV-Anlagen zur Verfügung?
Flächendaten nach /14/

Dachflächen auf Wohn- und Nichtwohngebäuden: 41.300.000 m² = **4.130 ha**
Freiflächen: 70.000.000 m² = **7.000 ha**

In /14/ werden für alle Bundesländer, darunter Sachsen, nicht nur die PV-Flächen angegeben, sondern auch die möglichen Stromerträge.

Folgende Annahmen gelten:

PV-Fläche Deutschland A_{PV} :	800 km ²
- Energieertrag Deutschland E_D :	96.000 GWh/a
- bezogener Energieertrag Deutschland e_D :	120 GWh/km ²
- bezogene Strahlungsleistung p :	1.000 W/m ²
- bezogener Energieertrag e :	800 kWh/kW _p
- Wirkungsgrad η :	15 %

PV-Flächen Sachsen

- Dachflächen A_{Dach} :	41,3 km ²
- Freiflächen A_{Frei} :	70 km ²

Nach den in /14/ getroffenen Annahmen ergeben sich für Sachsen folgende potenzielle Stromerträge:

Beispielrechnung

$$E_{\text{Dach}} = e_D \times A_{\text{Dach}}$$

$$E_{\text{Dach}} = 120 \text{ GWh/km}^2 \times 41,3 \text{ km}^2$$

$$E_{\text{Dach}} \approx 4.960 \text{ GWh/a}$$

$$E_{\text{Frei}} = e_D \times A_{\text{Frei}}$$

$$E_{\text{Frei}} = 120 \text{ GWh/km}^2 \times 70 \text{ km}^2$$

$$E_{\text{Frei}} \approx 8.400 \text{ GWh/a}$$

$$E_{\Sigma} = (E_{\text{Dach}} + E_{\text{Frei}})$$

$$E_{\Sigma} \approx (4.960 + 8.400) \text{ GWh/a}$$

$$\mathbf{E_{\Sigma} \approx 13.360 \text{ GWh/a}}$$

Die nach /14/ vorhandenen Dach- und Freiflächen würden ausreichen, um PV- Strom in der Größenordnung von rund 13.360 GWh/a in die sächsischen Netze einzuspeisen. Dieses Stromäquivalent entspricht **63,6 %** des für 2007 geschätzten Verbrauches.

Die vorhandenen Flächendaten für die Bundesländer, einschließlich der angegebenen Gesamtstromerzeugung, lassen den Schluss zu, dass die Flächen gleich Modulflächen sind.

In Ermangelung eigener durch die Autoren für Sachsen ermittelten PV-Flächendaten werden die Flächendaten nach /23/ als **Grundflächen** angenommen und die Berechnung konservativ durchgeführt.

Flächendaten nach /23/

Dachflächen auf Wohn- und Nichtwohngebäuden:	4.200 ha
Fassadenflächen:	1.100 ha
Freiflächen:	9.200 ha

Die verfügbare Gesamt-PV-Grundfläche beträgt rund 14.500 ha = 145 km², das sind rund 0,8 % der sächsischen Landesfläche. Errichtung und Betrieb von Freiflächenanlagen führen nicht zu einer vergleichbaren Flächenversiegelung, wie z. B. bei Gebäuden.

Tab. 3.2-6 beinhaltet leistungsbezogene Flächendaten für unterschiedliche Modultechnologien.

Modul-Technologie	Bezogener Flächenbedarf a_p in $[m^2/kW_p]$	Hersteller (Auswahl)
c-Si - kristalline Module	7,4	Solarworld, SOLARWATT
α -Si - Dünnschichtmodule	15,8	Signet Solar, Sunfilm
CdTe - Dünnschichtmodule	9,6	First Solar
CIS - Dünnschichtmodule	9,2	Avancis

Tab. 3.2-6: Flächenbedarf verschiedener PV-Technologien

Zur Abschätzung des Solarenergiepotenzials wird der durchschnittliche leistungsbezogene Flächenbedarf der verschiedenen PV-Technologien mit $a_p \approx 10 \text{ m}^2/kW_p$ angenommen. Umrechnung:

$$1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2 \Rightarrow 1.000 \text{ kW}_p = 1 \text{ MW}_p$$

Welcher Anteil der Dach-, Fassaden- und Freiflächen ist verschattungsfrei für PV-Anlagen nutzbar? Insbesondere bei Flachdächern und Freiflächen ist ein Abstand zwischen den Modulreihen zur verschattungsfreien Montage einzuhalten.

Gemäß des Screenshots der SCHLETTTER-Verschattungsberechnung (s. Abb. 3.2-16) können etwa **40 %** der Gesamtfläche bei Flachdächern und Freiflächen als aktive PV-Modulfläche angesetzt werden.

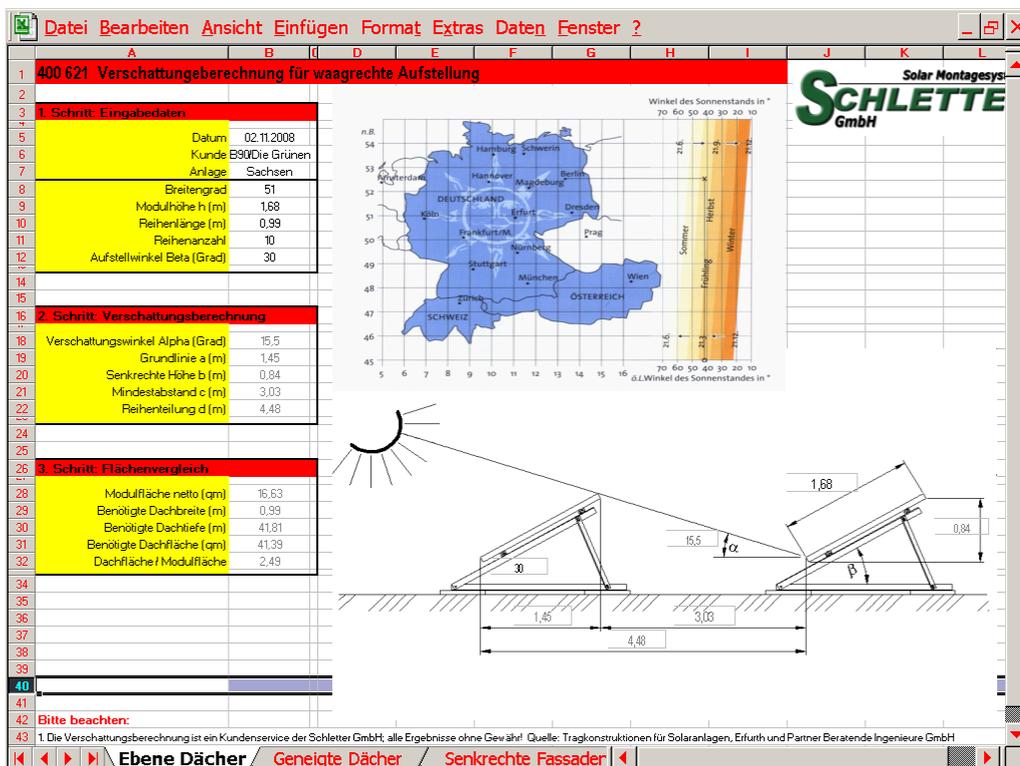


Abb. 3.2-16: Verschattungsberechnung nach SCHLETTTER

Bei Schrägdächern sind alle Dächer mit Südkomponente für die Bestückung mit PV-Anlagen geeignet (s. Abb. 3.2-17). Weitere Dachflächen können infolge Verschattung durch Schornsteine, Freileitungen u. ä. für PV-Anlagen nicht genutzt werden. Für diese

Potenzialuntersuchung gilt die konservative Annahme, dass **40 %** der Schrägdächer auf Wohn- und Nichtwohngebäuden für PV-Anlagen geeignet sind.

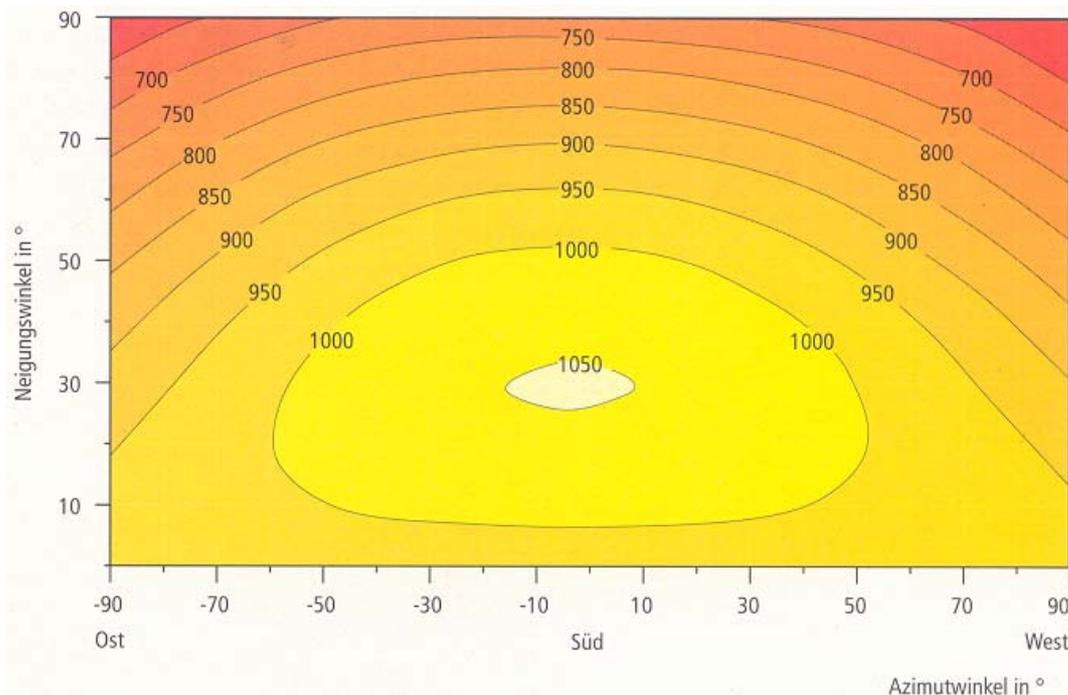


Abb. 3.2-17: Globalstrahlung in Berlin in Abhängigkeit von Azimut und Neigung in kWh/(m² a); Quelle: DGS

Berechnungsansatz Solarenergiepotenzial von Frei - und Dachflächen:

$$A_{PV\text{nutz}} = (A_{\text{Frei}} + A_{\text{Dach}}) \text{ ha} \times f_{\text{FrDa}} \quad \mathbf{f_{FrDa} = 0,4}$$

$$A_{PV\text{nutz}} = (9.200 + 4.200) \text{ ha} \times 0,4 = 5.360 \text{ ha}$$

Die für PV-Anlagen nutzbare Fläche ($A_{PV\text{nutz}}$) auf Frei- und Dachflächen entspricht einer installierbaren Leistung von

$$P \approx 5.360.000 \text{ kW}_p = 5.360 \text{ MW}_p.$$

Solarenergieertrag von Dach- und Freiflächen:

$$E_{\text{FreiDach}} = P_{\text{FreiDach}} \times e \quad \mathbf{e = 1.000 \text{ kWh/kW}_p}$$

$$E_{\text{FreiDach}} = 5.360 \text{ MW}_p \times 1 \text{ MWh/kW}_p = 5.360 \text{ GWh}$$

Hinzu kommen noch die Fassadenflächen von $A_{\text{Fassade}} \approx 1.100 \text{ ha}$. Bei konservativer Einschätzung kann angenommen werden, dass etwa **50 %** der Fassadenflächen für PV-Anlagen nutzbar sind.

Berechnungsansatz Solarenergiepotenzial von Fassadenflächen:

$$A_{\text{PVFassade}} = A_{\text{Fassade}} \times f_{\text{Fa}} \quad f_{\text{Fa}} = 0,5$$

$$A_{\text{PVFassade}} = 1.100 \text{ ha} \times 0,5 = 550 \text{ ha}$$

Die für PV-Anlagen nutzbare Fassadenfläche ($A_{\text{PVFassade}}$) entspricht einer installierbaren Leistung von

$$P_{\text{Fassade}} \approx 550 \text{ MW}_p = 550.000 \text{ kW}_p.$$

Solarenergieertrag von Fassadenflächen:

$$E_{\text{Fassade}} = P_{\text{FreiDach}} \times e_{\text{Fa}} \quad e_{\text{Fa}} = 700 \text{ kWh/kW}_p$$

$$E_{\text{Fassade}} = 550 \text{ MW}_p \times 0,7 \text{ MWh/kW}_p = 385 \text{ GWh}$$

Gesamtenergieertrag auf Freiflächen, Dächern und Fassaden

$$E_{\text{ges}} = (E_{\text{FreiDach}} + E_{\text{Fassade}}) \text{ GWh}$$

$$E_{\text{ges}} = (5.360 + 385) = 5.745 \text{ GWh}$$

Das aus der Sicht der Autoren bis 2020 umsetzbare PV-Potenzial bringt bei konservativer Berechnung einen jährlichen Stromertrag von rund **5.745 GWh**. Diese solar gewonnene Strommenge entspricht **27,4 %** vom geschätzten sächsischen Elektroenergieverbrauch 2007 in Höhe von 21.000 GWh.

Nicht berücksichtigt wurden bei der prozentualen Bewertung:

- Verbrauchsreduzierung durch Energieeffizienz und -einsparung
- Steigerung des PV-Wirkungsgrades.
- wachsender Elektroenergiebedarf durch Elektro-Autos

Für die Potenzialberechnung mussten bestimmte Annahmen getroffen werden:

- Modulorientierung: Südost bis Südwest, Neigung: (20 – 40)°
- spezifischer Energieertrag: $e = 1.000 \text{ kWh/kW}_p$

Die ausgewerteten sächsischen PV-Anlagen erbrachten in den letzten Jahren stetig einen spezifischen Energieertrag von $> 1.000 \text{ kWh/kW}_p$, so dass der gewählte Ansatz gut vertretbar ist. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Anlage wird ein Sicherheitsabschlag vorgenommen. Da bei dieser Berechnung bereits ein sehr konservativer Ansatz, bezüglich der verfügbaren Modulflächen, gewählt wurde, geht der o. g. Wert in die Berechnung ein.

Bei den Fassadenflächen wurde für den Energieertrag ein Abschlag von 30 % vorgenommen, da eine Fassade mit 90° Neigung nur etwa 70 % der Globalstrahlung erhält.

Für die PLZ-Bereiche (01000 – 09999) sind die Solarenergieerträge für die Jahre 2000 bis 2008 in der Quelle: www.pv-ertraege.de verfügbar.

In der vorliegenden Potenzialberechnung fand die neuerdings erprobte Errichtung von PV-Anlagen auf Ost-West ausgerichteten Dächern noch keine Berücksichtigung. Nach bisher bewerteten Ertragsdaten (*Schlegel, 2008*) kann gegenüber Dachanlagen mit Südausrichtung eine Stromerzeugung von etwa 85 % erwartet werden.

Die Ergebniszusammenfassung erfolgt in Tab. 3.2-7 und 3.2-8.

Flächen	Fläche A in [ha]	Leistung P in [MW _p]	Stromertrag E in [GWh/a] bis 2020
Grundflächen			
▪ Freifläche	9.200		
▪ Dachfläche	4.200		
▪ Fassadenfläche	1.100		
PV-Modulflächen			
▪ PV-Freifläche	3.680	3.680	3.680
▪ PV-Dachfläche	1680	1.680	1.680
▪ PV-Fassadenfläche	550	550	385
Σ PV-Sachsen	5.910	5.910	5.745

Tab. 3.2-7: Übersicht PV-Grundflächen und PV-Modulflächen

Σ PV-Sachsen bis 2020	
▪ Installierte Leistung [P _{ges}]	5.910 MW_p
▪ Leistung Freifläche [P _{Frei}]	3.680 MW_p
▪ Leistung Dachfläche [P _{Dach}]	1.680 MW_p
▪ Leistung Fassadenfläche [P _{Fas}]	550 MW_p
▪ Stromertrag [E]	5.745 GWh/a
Äquivalentversorgung Haushalte (HH)	2.235.000 HH > 100 %
Anteil am Stromverbrauch 2020 2007: E _{Verb} ≈ 21.000 GWh (geschätzt)	27,4 %
CO₂-Reduzierung f _{CO₂} = 0,922 kg CO ₂ /kWh _{el} /14/	5.300.000 t/a

Tab. 3.2-8: PV-Ergebnisse und Bewertung

Die unterschiedlichen Potenzialergebnisse nach /14/ und /23/ bedürfen der Interpretation, da diese erheblich voneinander abweichen. Nach Quelle /14/ musste davon ausgegangen werden, dass es sich bei den angegebenen Flächengrößen um PV-Modulflächen handelt. Die Nachrechnung anhand der für Deutschland vorliegenden Daten bestätigten die Ergebnisse. Demzufolge kamen hier für Sachsen keine Flächenabzüge infrage, so dass die mögliche PV-Stromeinspeisung rund **13.360 GWh/a** in Sachsen erreichen könnte. Der PV-Stromanteil am sächsischen Verbrauch würde damit bis auf **63,7 %** anwachsen.

Nach Quelle /23/ musste davon ausgegangen werden, dass es sich um Grundflächen handelt, auf denen PV-Module zur Aufstellung bzw. zur Montage kommen. In diesem Fall müssen natürlich entsprechende Abstände zwischen den Modulreihen eingehalten werden. Die für die solare Umwandlung nutzbare Fläche ist entsprechend kleiner, demzufolge auch der Stromertrag. Die Berechnung, konservativ vorgenommen, lässt einen solaren Stromertrag bis zu **5.745 GWh/a** erwarten, was einem Verbrauchsanteil von etwa **27,4 %** entspricht.

Wiederholt war von Autorensseite von konservativer Berechnung die Rede. Mit sehr großer Wahrscheinlichkeit ist das für die Photovoltaik angegebene Flächenpotenzial nicht ausgeschöpft. Die industriell gefertigten Wohnbauten aus DDR-Zeiten mit ihren vorwiegenden Flachdächern, Stallbauten in der Landwirtschaft sowie zahlreiche Gewerbe- und Industriegebäude der letzten Jahre sind bisher nicht erfasst. Stalldächer fielen häufig wegen zu geringer Tragfähigkeit oder wegen des hohen Sanierungsbedarfes heraus.

Ein nicht unerheblicher Flächenzuwachs dürfte aus der Nutzung Ost-West-ausgerichteter Dachflächen entstehen.

Ziel der nächsten Jahre muss es sein, die tatsächlichen Flächen genauer als bisher zu bestimmen. Für Dachflächen wird im Pkt. 3.2.11.2 eine geeignete Methode vorgestellt.

3.2.11.2 Methoden zur Ermittlung von relevanten PV-Dachflächen

Die Grundlage der vorliegenden Potenzialermittlung wurde oben dargestellt. Gleichzeitig wurden die Unsicherheiten aufgezeigt.

Den Kommunen wird die Empfehlung gegeben, eine exakte Potenzialermittlung für Dächer sowohl kommunaler als auch privater Art vorzunehmen. Die Stadt Osnabrück entwickelte dazu das GIS-gestützte Programm „**Sun Area**“, siehe Screenshot, Abb. 3.2-18. Mit dem Projekt „Sun Area“ kann mit wenigen Klicks angezeigt werden, ob sich die Dachflächen eines bestimmten Hauses für den Bau einer PV-Anlage eignen und welche Flächengröße verfügbar ist.

Bisher wurde bekannt, dass das Umweltamt der Stadt Dresden erwägt, das Programm „Sun Area“ zu erwerben. Insgesamt kann im Bereich der landeseigenen und kommunalen Immobilien eine große Zögerlichkeit festgestellt werden, wenn es darum geht, Dachflächen selbst mit PV-Anlagen zu bestücken bzw. Dachflächen an interessierte Investoren langfristig zu vermieten. Freistaat und Kommunen kommen weder ihrer Vorbildverpflichtung noch ihrer Verpflichtung aus der „Daseinsvorsorge“ für die Gesellschaft nach.

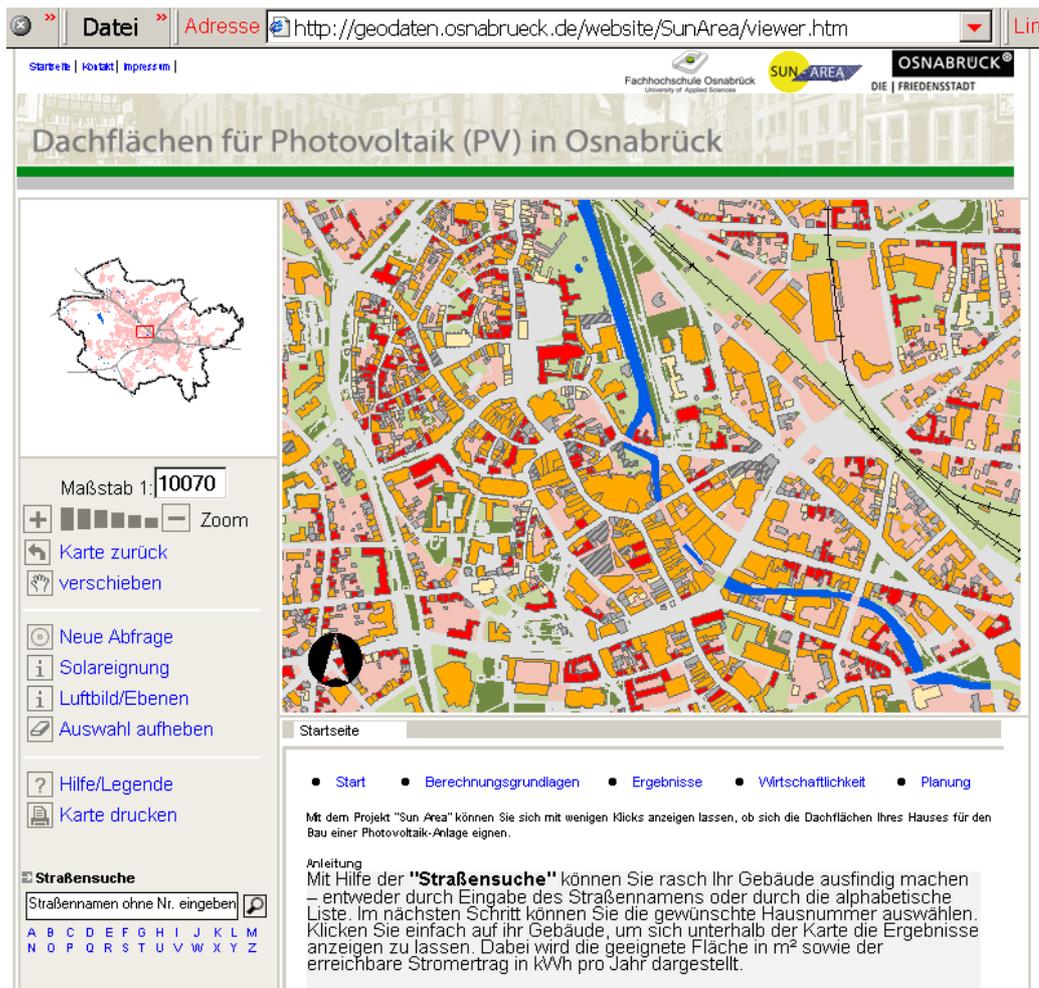


Abb. 3.2-18: Programm „Sun Area“
 Quelle: <http://geodaten.osnabrueck.de/website/SunArea/viewer.htm>

3.2.11.3 Konkurrenz zwischen Photovoltaik und Solarthermie

Solarthermische Energie muss i.d.R. am Ort der Gewinnung genutzt werden. Deshalb ist die Installation solarthermischer Anlagen (vorerst) auf Wohngebäude, ggf. noch auf die Beheizung von Schwimmbädern, beschränkt.

Photovoltaische Energie wird i. d. R. in das öffentliche Netz eingespeist. PV-Anlagen können deshalb überall, nicht nur auf Wohngebäuden, errichtet werden. Die wichtigste Voraussetzung ist das Vorhandensein eines Netzes. Die durchschnittliche Leistung von PV-Anlagen ist seit 1990 kontinuierlich gewachsen. Sie beträgt jetzt **17,4 kW_p/Anlage**. Dies erfordert auch bei den leistungsstärksten kristallinen PV-Anlagen eine Fläche von mehr 130 m², die eher nicht auf Wohngebäuden sondern auf Scheunen, Stallungen und Industriedächern zu finden ist.

Eine Konkurrenz zwischen PV und Solarthermie ist aus diesen Gründen kein typisches Problem. Folgendes Bild zeigt im Übrigen, dass sich PV und Solarthermie auf einem Dach gut vertragen können. Weiterhin ist berücksichtigen, dass derzeit in Deutschland, aber auch in Sachsen überhaupt kein Flächenengpass besteht. Mittelfristig darf die Hoffnung auf zusätzliche Flächenerschließungen gesetzt werden.

Die Abb. 3.2-19 zeigt die gelungene Verbindung von PV-Anlage und solarthermischer Anlage auf einem Eigenheim.



Abb. 3.2-19: Solarergiezentrum Oberseifersdorf (GR); linke Seite PV-Module 1,89 kW_p, rechte Seite: Solarthermie-Kollektoren; Quelle: Foto, Blochberger

3.2.12 Einschätzung der PV-Entwicklung bis 2020

Schlaglichtartig sind folgende Entwicklungen zu erwarten:

- Kostensenkungen in der gesamten Technologiekette

- 1991: netzgekoppelte PV-Anlage in Sachsen schlüsselfertig **27.000,- DM/kW_p**,
- 2008: netzgekoppelte PV-Anlage in Sachsen schlüsselfertig **4.275,- Euro/kW_p**,
- Untersuchung des BSW zeigt eine Preissenkung im Zeitraum vom 2. Quartal 2006 bis zum 2. Quartal 2008 um 15 %!



Abb. 3.2-20: Kostendegression von PV-Anlagen
Quelle: BSW Solar 2008

- Für 2009 kündigen mehrere Hersteller von Modulen Preissenkungen von ca. 5 % an. Ein großer Gestellhersteller will aktuelle Marktpreissenkungen bei Edelstahl und Aluminium an die Kunden weitergeben,
- Hersteller von Dünnschichtmodulen haben das Ziel angekündigt, bis 2012 die PV-Stromkosten in den Bereich des aus fossilen Energieträgern erzeugten Stromes abzusenken. Hersteller kristalliner Si-basierter Module planen diesen Schritt bis etwa zum Jahr 2014,
- Kostenreduzierung der Montageart „Dachintegration“ 2009 durch Einführung Dach-Integrationssystem „Roof 3“ (patentierte Lösung),
- Ballastarmes Flachdachsystem für Flachdächer, besonders im Industriebereich



Abb. 3.2-21: Industriedach mit PV-Modulen
Quelle: Solarwatt

- Elektroenergiebedarfssteigerung durch Elektroautos

- Massenproduktion von Plug-in Hybridfahrzeugen und Elektroautos in den nächsten Jahren wird erwartet,
- Kostenvorteile für Fahrer,
- Pufferfunktion im Stromnetz durch Akkuladung,
- Abfederung von Spitzenleistungen von Photovoltaik und Windenergie,
- BMW bringt 2009 in den USA 500 Elektroautos auf den Markt,
- Pilotprojekt für Fahrzeuge der Marke Mini ab dem 01.01.2009 an Kunden in New York, New Jersey und Kalifornien (einjähriger Praxistest),
- Reichweite des Elektro-Mini rund 250 Kilometer (150 Meilen),
- Volkswagen experimentiert mit einer Flotte von 20 elektrobetriebenen Golf – „TwinDrive“ mit schnellladefähigen Lithium-Ionen-Akkus (220 V-Steckdose).

Abb. 3.2-22 zeigt einen BMW „Mini“ mit Elektromotor.



Abb. 3.2-22: Elektro-Mini von BMW
Quelle: Winkler, Solarwatt

Abb. 3.2-23 zeigt eine Ladestation für Elektrofahrzeuge mittels PV-Anlage. Ladeträger ist das Dach eines Carports mit zwei Stellflächen.



Abb. 3.2-23: PV-Tankstelle für Elektrofahrzeuge, $P = 4 \text{ kW}_p$
Quelle: Foto, Alf Reinhard, DD-Weixdorf

Ein Elektro-Kleinwagen, wie das in Abb. 3.2-23 gezeigte Fahrzeug, benötigt je nach Fahrstil und Streckenprofil eine Energie von **20 kWh/100 km**. Bei einer Fahrleistung von 9.000 km/a benötigt man 1.800 kWh/a = **1,8 MWh/a**. Der Doppel-Solarcarport mit seiner 4 kW_p-PV-Dachanlage liefert exakt den Jahresenergiebedarf von zwei Elektro-Kleinwagen.

Experten gehen von einer raschen Zunahme der Zahl der E-Autos aus. Der zusätzliche bedarf an Elektroenergie kann aus erneuerbaren Energiequellen deckt werden.

Für Sachsen sollte der Slogan gelten:

Vom Autoland zum Elektroautoland!

Die in Sachsen ansässigen Autohersteller **BMW**, **Porsche** und **VW** planen die Produktion von Elektroautos. Der Freistaat hat die Chance:

- Bedingungen zum Einsatz der Elektroautos zu schaffen
 - mit zugehörigem Netz von Elektro- und Solartankstellen
 - mit Privilegien für Elektroautos bezüglich Parkmöglichkeiten in Innenstädten
 - mit Aufbau eines geeigneten Umfeldes zur Produktion der Elektroautos in den sächsischen Werken

Szenarien der Entwicklung bis 2020

Wie wird sich die Balance zwischen Chancen und Risiken für die weitere Entwicklung der PV in Sachsen einstellen? Was kann der Sächsische Landtag, was kann die Sächsische Staatsregierung und was können alle anderen Akteure in Sachsen tun, um gewisse Nachteile im deutschen EEG zu kompensieren und damit eine weitere stürmische Entwicklung der PV in Sachsen zu ermöglichen?

Neben der Beseitigung vieler kleiner und großer Hemmnisse zur Errichtung von PV-Anlagen ist ein **Paradigmenwechsel erforderlich**:

Alle Dächer und Fassaden, alle Deponien und Konversionsflächen und auch alle Lärmschutzwände (siehe § 33 Abs. 1 EEG) sind **grundsätzlich** mit PV-Anlagen auszurüsten. Sollte dies im Einzelfall nicht möglich oder nicht sinnvoll sein, ist dies zu begründen und mit Ausgleichsmaßnahmen zu kompensieren.

EPIA-Szenario in der EU

Die EPIA (*European Photovoltaik Industry Association*) veröffentlichte zur Europäischen PV-Konferenz in Valencia am 4. September 2008 ihr Ziel für Europa:

Bis zum Jahr 2020 soll der PV-Stromanteil auf 12 % ansteigen!

Die EPIA prognostiziert die „**Grid parity**“ (Netzgleichheit) für Deutschland im Jahre 2015. Dann wird der PV-Strom soweit im Preis gesunken und der Netzstrom soweit im Preis gestiegen sein, dass beide Preise gleich sind. Ab diesem Zeitpunkt ist die Photovoltaik aus sich heraus wirtschaftlich. Solarstrom wird dann von Jahr zu Jahr immer preisgünstiger werden und höhere Vergütungen nach EEG sind nicht mehr erforderlich.

Tatsächlich wirkt Solarstrom bzw. allgemein der Strom aus Erneuerbaren Energien bereits seit Jahren kostendämpfend. Dieses scheinbar paradoxe Phänomen ist in der Fachwelt als „**Merit-Order-Effekt**“ bekannt. Der Merit-Order-Effekt ersparte den Verbrauchern bereits im Jahre 2006 Kosten von 5.000.000.000 €.

Der volkswirtschaftliche Nutzen durch Erneuerbare-Energien-Strom ist sogar unter Berücksichtigung der Mehrkosten, die durch das EEG zunächst verursacht werden, noch größer. Dieser betrug im Jahre 2006 nach Berechnungen des BMU **6.800.000.000 €**.

Deutschland ist weltweit führend in der Installation von PV-Anlagen. 2007 wurde die Hälfte aller PV-Module in Deutschland installiert. Auch in Europa ist Deutschland in der PV mit Abstand Technologieführer. Trotz des Wachstums der anderen europäischen Länder wie Spanien, Italien, Frankreich, Belgien, Tschechien, Griechenland bleibt Deutschland die Lokomotive in der Photovoltaik.

Wenn sich jetzt die EPIA für 2020 das Ziel gesetzt hat, **12 %** PV-Stromanteil im europäischen Durchschnitt zu erreichen, ist das nur möglich, wenn Deutschland dieses Ziel deutlich übertrifft. Andere Länder, die später in die Photovoltaik eingestiegen sind oder bspw. wie Polen diesen Schritt noch vor sich haben, werden das 12 %-Ziel im Jahre 2020 noch nicht erreichen können.

Welchen Anteil kann der Freistaat Sachsen übernehmen?

Im Jahre 2008 liegt der Anteil des PV-Stromes in Sachsen noch unter einem Prozent am Verbrauch. Wann könnte die **1 % -Grenze** überschritten werden? Die Studie gibt eine Antwort: Bis 2020 könnten mindestens **27 %** am nach dem 2007 bemessenen Verbrauch geschafft werden. Dafür wäre die Installation von 5.910 MW_p PV-Modulen notwendig. Die Berechnungsdaten wurden dabei von den Autoren konservativ ausgelegt. Bei entsprechender politischer Weichenstellung ist ein Anteil **größer 30 %** keine Utopie. Wachstumsraten der Anlagenleistung von (40 bis 60) % pro Jahr müssen beibehalten werden. Da die vorhandenen Dach- und Fassadenflächen allein nicht die notwendigen PV-Erträge realisieren können, kann auch weiterhin nicht auf die hoch-effektiven PV-KW weil diese garantiert verschattungsfreier und nach Süden ausgerichtet sind.

3.3 Biomasseenergienutzung

3.3.1 Übersicht feste Biomasseenergie

Begriffsbestimmung Biomasse

Unter Biomasse als nachwachsende Rohstoffe versteht man im eigentlichen Sinn die Summe aller gegenwärtig lebenden Stoffe organischer Herkunft. Die Biomasse umfasst somit die in der Natur lebenden und gestorbenen Pflanzen und Tiere ebenso wie deren Rückstände bzw. Nebenprodukte (z.B. tierische Exkrememente), jedoch ohne den fossilen Anteil dieser Stoffe.

In den weiteren Ausführungen werden nur die nach § 2 der Biomasseverordnung anerkannten Energieträger aus Phyto- und Zoomasse im Sinne des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) berücksichtigt. Es wird in diesem Kapitel unmittelbar nur auf **feste Energieträger** ohne die Berücksichtigung der gasförmigen Konvektionslinien Bezug genommen. Demnach fallen die unter § 3 der Biomasseverordnung nicht genannten Energieträger wie zum Beispiel Torf, Papier, Pappe, Karton oder Klärschlamm aus der weiteren Betrachtung heraus. Die nachfolgende Abb. 3.3-1 gibt einen Überblick über alle erneuerbare Energieträger im Bereich Biomasse sowie, deren Umwandlungs- und Nutzungsmöglichkeiten.

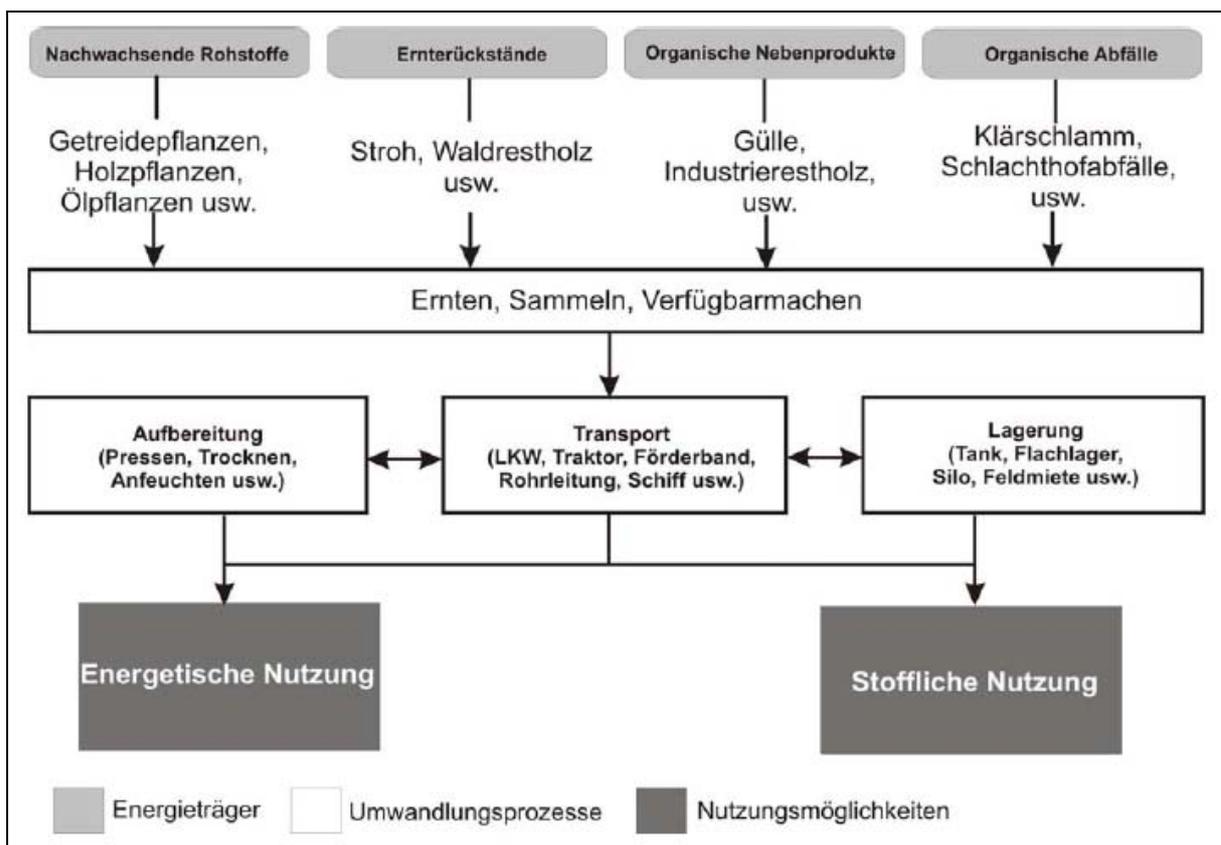


Abb. 3.3-1: Übersicht energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse

3.3.2 Biomassepotenziale (feste Energieträger)

3.3.2.1 Theoretisches Potenzial

Mit der Kategorie des theoretischen Biomassepotenzials wird das innerhalb eines Jahres theoretisch physikalisch nutzbare Energieangebot bezeichnet. Die Ermittlung dieses Potenzials erlaubt jedoch keine Rückschlüsse auf dessen tatsächliche Nutzbarkeit, sondern stellt einen Orientierungswert für den theoretisch maximal möglichen Beitrag der Biomasse zur Energiebereitstellung dar. Im Bereich der festen Energieträger lässt sich diese Potenzialgröße wie folgt darstellen:

Feste Biomasse und Bezugsgröße	Ertrag	Energiegehalt [MJ/kg]	Primärenergieertrag PEV in [PJ/a]
Ackerland ($A_A = 721.172$ ha)	10 t (TM)/ha	17,68 MJ/kg	127,5
Dauergrünland und Landschaftspflegeflächen ($A_G = 183.805$ ha)	5,1 t (TM)/ha	17,5 MJ/kg	16,5
Wald ($A_W = 521.629$ ha) Holzzuwachs	4,5 Mio. m³ (Vfm)	15,5 MJ/kg	34,8
Alt- u. Industrierestholz	333.800 t	17,67 MJ/kg	5,9
Gesamt			184,7

Tab. 3.3-1: Theoretisches Biomassepotenzial im Freistaat Sachsen /28/

Aus der Tab. 3.3-1 geht die Herkunft der erneuerbaren Energieträger hervor. In /28/ beziffert das SMUL 2007 das theoretische Biomassepotential für Sachsen auf **184,7 PJ/a**, umgerechnet ergeben sich daraus rund **51.347 GWh**. Dieser Wert entspricht fast 56 % des sächsischen Endenergieverbrauches. Der Endenergieverbrauch an Strom und Wärme in Sachsen betrug im Jahr 2006 etwa 331 PJ/a (92.018 GWh).

3.3.2.2 Technisches Potenzial

Bei der Ermittlung des technischen Biomassepotenzials, d. h. der bereitstellbaren Brennstoffmenge aus Biomasse, wurden folgende Teilaspekte berücksichtigt:

- Flächen, die dem gegenwärtigen Anbau landwirtschaftlicher Kulturen zugrunde liegen, die für energetische oder stoffliche Zwecke genutzt werden, zzgl. der stillgelegten Flächen (in der Summe: 134.000 ha),
- Nebenprodukte aus der Landwirtschaft (Getreidestroh, Rapsstroh, Heu von Dauergrünlandflächen),
- Potenzial der Forstwirtschaft bezogen auf den jährlichen Holzzuwachs, das Alt- und Industrierestholzpotenzial.

Potenziale der Landwirtschaft

Für den **Anbau landwirtschaftlicher Kulturen** zur energetischen oder stofflichen Verwertung lässt sich die gegenwärtig nicht für Nahrungs- und Futtermittelzwecke dienende Ackerfläche nutzen. Im Freistaat Sachsen belief sich diese im Jahr 2006 rechnerisch auf ca. 134.000 ha ¹⁾, das entspricht 18,6 % der Ackerfläche.

Unter Zugrundelegung eines durchschnittlichen Ertrages von **10 t** Trockenmasse auf dieser Fläche würden pro Jahr ca. **1,34 Mio. t** Biomasse (trocken) mit einem Energiegehalt von ca. **23,7 PJ** zur Verfügung stehen.

Berücksichtigt wurden auch die Faktoren Nachhaltigkeit, Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit (Humusbilanz) sowie Erosionsschutz. Abgezogen wurde daher die zur Reproduktion der jährlich mineralisierten organischen Substanz im Boden und damit die für eine ausgeglichene Humusbilanz erforderliche Menge. In der Tabelle ist jeweils nur die tatsächlich energetisch oder stofflich nutzbare Menge aufgeführt. Sie beläuft sich z. B. bei Stroh auf ca. 41 % des Gesamtanfalls von 2,0 Mio. t Trockenmasse. Die verfügbaren Potenziale an Nebenprodukten weichen regional stark voneinander ab. So steht in Regionen mit einem hohen Tierbesatz (Stroh wird als Einstreu und zur Fütterung verwandt) sowie bei landwirtschaftlichen Böden geringer Güte weit weniger Potenzial zur Verfügung. Eine ausführliche Darstellung dazu und zu den Berechnungsgrundlagen findet sich bei „Landwirtschaftliche Biomasse – Potenziale an Biomasse aus der Landwirtschaft des Freistaates Sachsen zur stofflich-energetischen Nutzung“ (LfL, 2006).

Nebenprodukte aus der Landwirtschaft besitzen ein erhebliches Potenzial für die energetische oder stoffliche Verwertung. In Tabelle 3.3-2 sind die berechneten nutzbaren Potenziale dargestellt.

Reststoff	Gesamtmenge	Möglicher Nutzungsgrad	Technisches Potenzial trockene Biomasse	Primär-Energieertrag
	1.000 t TM/a bzw. 1.000 m ³ /a	%	1.000 t/a	PJ/a
Pflanzenbau				
Getreidestroh ²⁾	2.033 (1.858)	41,4	842,4 (769,4)	14,6 (13,3)
Rapsstroh ³⁾	528 (256)	20,0	105,7 (51,2)	1,8 (0,9)
Heu Dauergrünland ⁴⁾	938	20,0	187,7	3,3
Primärenergiebetrag Gesamt				19,7 (17,5)

Tab. 3.3-2: Gegenwärtige Potenziale an Reststoffen und Nebenprodukten aus der Landwirtschaft im Freistaat Sachsen (Quelle: SMUL, 2007)

¹⁾ Stilllegungsfläche (67.500 ha mit und ohne Anbau nachwachsender Rohstoffe), Energiepflanzenanbau außerhalb der Stilllegung (17.470 ha), Anbau für technische Zwecke entsprechend Übertragung des bundesweiten Schätzwertes der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe auf Basisflächen (49.000 ha).

Damit beträgt das gegenwärtig **technisch nutzbare** Potenzial an Reststoffen und Nebenprodukten aus der Landwirtschaft im Bereich der festen Biomasse, abzüglich der Potenziale, die bereits beim Anbau landwirtschaftlicher Kulturen berücksichtigt wurden rund **17,5 PJ/a** (4.865 GWh/a).

Potenziale der Forstwirtschaft

Die für die Holzproduktion zur Verfügung stehende Fläche des sächsischen Waldes beinhaltet einen **Holzvorrat** von ca. 126 Mio. m³ (Vfm) ⁵⁾. Pro Hektar (Holzbodenfläche) beträgt damit der Vorrat durchschnittlich 262 m³ (Vfm). Durch nachhaltigen **Holzzuwachs** kommen jährlich durchschnittlich 9,4 m³ (Vfm) pro Hektar hinzu. Das entspricht einer nachhaltig neu zuwachsenden Holzmenge von durchschnittlich 4,5 Mio. m³ (Vfm). Der Schwerpunkt liegt mit 2,1 Mio. m³ (Vfm) bei der Fichte, gefolgt von der Kiefer mit 1,2 Mio. m³ (Vfm) und 370.000 m³ (Vfm) anderer Baumarten mit niedriger Lebensdauer.

Der jährliche Holzzuwachs von insgesamt 2,25 Mio. t (bzw. 4,5 Mio. m³ (Vfm)) entspricht einem technischen Potenzial von 34,8 PJ/a. Damit entspricht das technische Potenzial in der Forstwirtschaft dem theoretischen Potenzial, d.h. dass theoretisch der gesamte Holzzuwachs auch unter technischen Gegebenheiten einer energetischen Nutzung zugeführt werden könnte. Das dieses Potenzial realistisch so nicht zur Verfügung steht, liegt u. a. daran, dass nur ein Bruchteil des gesamten Zuwachses überhaupt genutzt wird. Von dieser genutzten Holzmenge wird wiederum der überwiegende Teil des Rohholzes nicht energetisch, sondern stofflich verwendet.

Alt- und Industrierestholz

Die **Altholzmenge** beläuft sich auf ca. **260.000 t TM/a**, die Industrierestholzmenge auf ca. **73.800 t TM/a**.

Das Alt- und Industrierestholzaufkommen im Freistaat Sachsen umfasst insgesamt ca. **333.800 t/a** und entspricht einem technischen Potenzial von **5,9 PJ/a** (1.640 GWh/a).

Potenzial biogener Abfälle

Die in diesem Kapitel aufgeführten Angaben zu Art, Menge, Herkunft und Verbleib der **biogenen Abfälle** beruhen auf den jährlich von den Landkreisen und kreisfreien Städten erstellten Abfallbilanzen. Diese enthalten Angaben zu Abfällen, die den öffentlich rechtlichen Entsorgungsträgern (ÖRE) überlassen wurden. Im Jahr 2005 belief sich diese Menge auf **217.029 t** Bio- und Grünabfälle aus Haushalten. Hiervon wurden nahezu 99 % (214.625 t) einer Kompostierung und ca. **2.323 t**, das entspricht 1 %, einer Vergä-

²⁾ Grundlage der Berechnung: einfache Humusreproduktion auf der Getreideanbaufläche und die optimale Versorgung der Viehhaltung mit Stroh für Fütterung und Einstreu.

³⁾ Angaben in Klammern unterstellen mit Bezug auf die Potenzialabschätzung zum Anbau landwirtschaftlicher Kulturen, dass auf der geschätzten Fläche von 134.000 ha 50 % Raps, 25 % Getreide und 25 % sonstige Kulturen angebaut werden. Die auf diesen Flächen erzeugten Getreidestroh- und Rapsstrohpotenziale wurden von den ermittelten Gesamtstroh- und Rapsstrohmengen abgezogen.

⁴⁾ 20 % des mittleren Aufkommens

⁵⁾ Das Rohholzvolumen stehender Bäume bzw. Waldbestände wird in Vorratsfestmetern Derbholz mit Rinde Vfm (m³) berechnet. Im Rahmen der Holzsortierung werden dann die Rindenanteile und die üblicherweise auftretenden Verluste bei der Holzernte abgezogen und die handelsüblichen Abschläge bei der Vermessung von Rohholz berücksichtigt. Das Ergebnis sind dann Erntefestmeter Derbholz ohne Rinde Efm (m³)

zung zugeführt. Die Kompostierung und stoffliche Verwertung dieser Abfälle ist vergleichsweise unkompliziert sowie mit geringeren Investitions- und Betriebskosten verbunden.

Deshalb stehen bislang davon nur geringe Mengen für die energetische Nutzung zur Verfügung. Insgesamt ist eine kontinuierliche Steigerung des Gesamtaufkommens an biogenen, für eine energetische Verwertung in Frage kommenden, Abfällen zu verzeichnen.

Unter zusätzlicher Berücksichtigung von Park-, Garten- und Marktabfällen sowie von Abfällen aus Gewerbebetrieben, die den öffentlich rechtlichen Entsorgungsträgern überlassen wurden, betrug das Gesamtaufkommen an biogenen Abfällen im Jahr 2005 schätzungsweise 235.000 t.

Nicht erfasst sind in der Abfallbilanz die nach Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) von der Entsorgung ausgeschlossenen oder von den Abfallerzeugern in eigener Verantwortung verwerteten Abfälle. Dies gilt auch für die privatwirtschaftlich gesammelten und verwerteten biogenen Abfälle.

Wird den Grünabfällen ein Heizwert von 7,6 MJ/kg FM (TS-Gehalt 60 %) und dem Bioabfall aus der Biotonne ein Heizwert von 2,5 MJ/kg FM (TS-Gehalt 30 %) zugrunde gelegt ⁶⁾, ergibt sich für Grünabfälle ein Primärenergieertrag von 0,7 PJ/a (195 GWh/a) und für Bioabfälle von 0,3 PJ/a (83 GWh/a). Der Primärenergieertrag der biogenen Abfälle betrug im Jahr 2006 **1 PJ** ⁷⁾.

Zusammenfassung des technischen Potenzials fester Bioenergieträger

In Sachsen steht jährlich aus Land- und Forstwirtschaft sowie der Abfallwirtschaft ein technisches Potenzial von ca. **5,16 Mio. t** Biomasse zur Verfügung (vgl. Abb. 3.3-2). Dies entspricht einem Energiegehalt von insgesamt **82,9 PJ** (23.046 GWh).

Das Potenzial von 82,9 PJ würde bei einer ausschließlichen energetischen Nutzung im Strom- und Wärmebereich 25 % des sächsischen Endenergieverbrauchs von 2006 (EEV \approx 331 PJ/a, bzw. 92.018 GWh/a) decken.

Tatsächlich wurden von diesem technischen Potenzial nur **29,85 PJ/a** (8.298 GWh/a) im Jahr 2006 genutzt, was einem Nutzungsgrad von 36 % entspricht.

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass der Großteil der bislang energetisch genutzten festen Biomasse aus dem Bereich der Forstwirtschaft mit ihrem jährlichen Holzzuwachs inklusive der späteren energetischen Verwertung von Altholz- und Industrierestholz stammt. Der Landwirtschaft kommt hinsichtlich des aktuellen Ausnutzungsstandes am gesamten festen Biomassepotential die zweitgrößte Bedeutung zu. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der landwirtschaftliche Aufkommensbereich der Biogaserzeugung nicht berücksichtigt wurde.

⁶⁾ Leible, L., Arlt, A., Fürniß, B. et al.; Forschungszentrum Karlsruhe: Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen

⁷⁾ Zu beachten ist, dass der Heizwert nur im Falle der Verbrennung als Maß für den Primärenergieertrag geeignet ist. Da aber entsprechend der Fokussierung auf feste Energieträger die energetische Nutzung von Bioabfällen aus der Biotonne vorrangig über die Vergärung und die Erzeugung von Biogas erfolgen wird, wäre für diesen Fall der Primärenergieertrag zu schätzen und zu reduzieren.

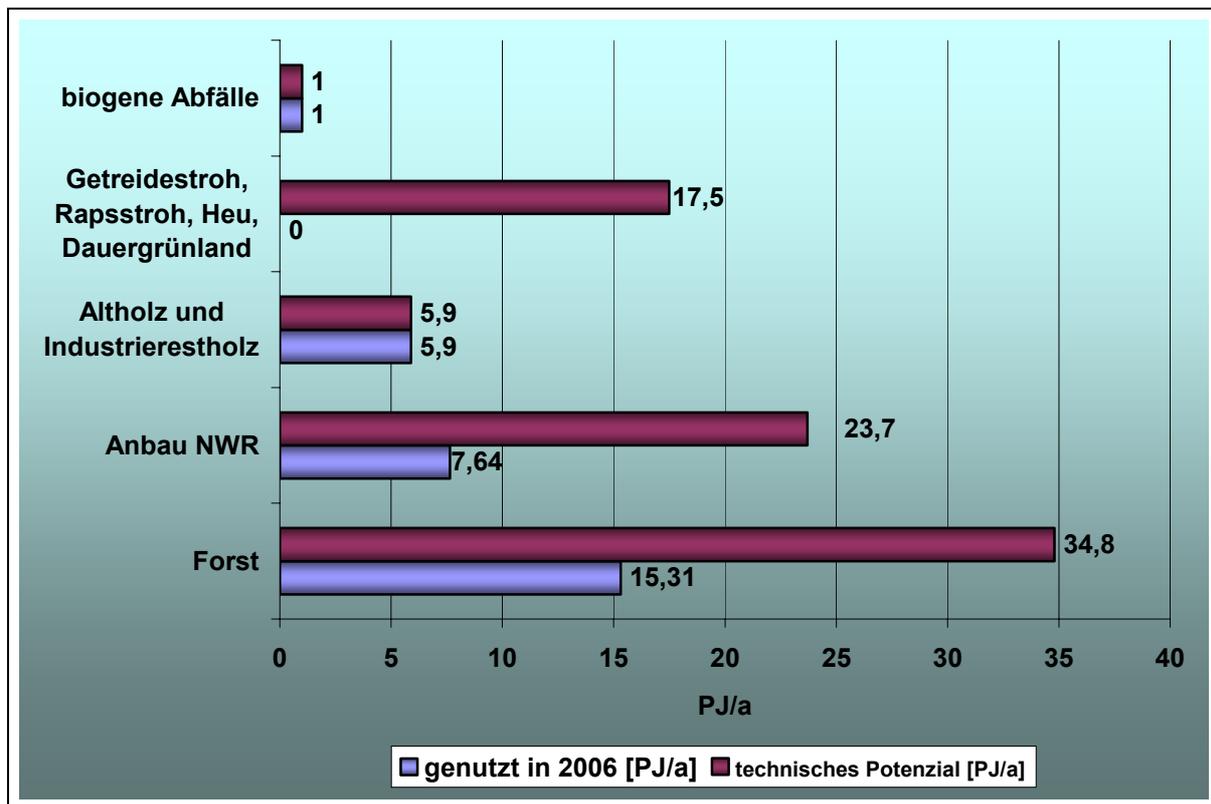


Abb. 3.3-2: Technisches Potenzial an Biomasse und dessen Nutzungsgrad (stofflich und energetisch) in Sachsen im Jahr 2006

Bezieht man die Betrachtung jedoch auf die gesamten technischen Biomassepotenziale, so hat der landwirtschaftliche Bereich insbesondere durch die bislang völlig ungenutzten Potenziale im Bereich der **Strohreste** und der Potenziale aus der Dauergrünlandbewirtschaftung erhebliche – theoretische – Potenziale vorzuweisen. Inwieweit diese realisiert werden können, hängt stark von der Entwicklung der Energiepreise, der Technologie hinsichtlich der Konvektion der Ressourcen in Strom und/oder Wärme, sowie von wirtschaftlichen Produktions- und Wertschöpfungsketten ab.

Die Tatsache, dass das *tatsächlich genutzte* technische Biomassepotential nur 36 % (29,85 PJ/a) des *möglichen* technischen Biomassepotentials beträgt, hat seine Ursachen in den bestehenden wirtschaftlichen, technologischen, strukturellen und rechtlichen Rahmenbedingungen, die eine bessere Nutzung erschweren. Hinsichtlich der forstlichen Nutzung ist anzumerken, dass in Sachsen insbesondere im Privatwald deutlich weniger Holz eingeschlagen wird als nachwächst. Im Jahr 2003 wurden 82 % des sächsischen Holzeinschlages im Landeswald, 5 % im Bundeswald, 10 % im Körperschaftswald und nur 3 % aus dem Privatwald realisiert (Kramer & Möller 2006, S. 59). Gelänge es demzufolge den Einschlag vor allem im Privatwald zu erhöhen, der 46 % der Gesamtwaldfläche und mehr als die Hälfte des nutzbaren Zuwachses der sächsischen Waldflächen ausmacht, so würde die erneuerbare Ressource Holz weiter an Bedeutung gewinnen.

3.3.2.3 Verwertung des tatsächlich genutzten technischen Biomassepotenzials

Unter der Verwertung der Biomasse versteht man die unterschiedliche Nutzung der Energieträger aus Landwirtschaft und Forstwirtschaft. Demnach lassen sich Erzeugnisse beider Sektoren „stofflich“, „stofflich/energetisch“ als auch nur „energetisch“ nutzen.

Aufgrund der gezielten Nachfrage in einigen Bereichen werden in Sachsen einerseits bereits hohe Biomasse-Nutzungsgrade erreicht (vgl. Abb. 3.3-2). Das ist unter anderem bei Alt- und Industrierestholz der Fall, wo bereits die Potenziale nahezu vollständig genutzt werden. Andererseits gibt es Bereiche, in denen theoretisch Biomassen zur energetischen Nutzung anfallen, deren Nutzungsgrad jedoch bei Null rangiert. Insbesondere für die ungenutzten Potenziale der Grünlandbewirtschaftung oder der Reststoffe in Form von Stroh haben in ihren energetischen Wertschöpfungsketten noch einige Unzulänglichkeiten und Defizite, die einer erweiterten Nutzung entgegen stehen. Gründe für die geringe Nutzung sind u. a. der teilweise geringe Energiegehalt der Biomasse und deren dezentraler Anfall in geringen Mengen (vgl. Heu, Gras aus Grünland- und Biotoppflege), fehlende bzw. unzureichende technische Voraussetzungen bzw. rechtliche Normen und Anforderungen (vgl. Strohverbrennungsanlagen; Probleme sind u. a. der hohe Verschlackungsgrad und die Einhaltung der BImSch-Normen), strukturelle Nachteile wie sie z.B. im Bereich der Holzmobilisierung im Privatwald durch dessen geringe durchschnittliche Eigentumsgröße (Kleinparzellierung), den geringen Kooperationsgrad der Waldbesitzer und fehlende Organisationsstrukturen innerhalb einer ganzheitlichen Energieholzwertschöpfungskette zu verzeichnen. Weitere Restriktionen bestehen durch Nutzungseinschränkungen bei der Flächenbewirtschaftung, der teilweisen Nichtakzeptanz von Anlagen seitens der ortsansässigen Bevölkerung (z. B. Biogasanlagen, Biomasse-HKW) und zum großen Teil auch durch die Unkenntnis der Möglichkeiten und Chancen durch die verschiedenen Akteure in Zusammenhang mit der Umsetzung und Verwirklichung von Biomasse-Projekten.

- Feste Biomassebrennstoffe – Holzfeuerungsanlagen im Freistaat Sachsen

Die Nachfrage nach biogenen Festbrennstoffen – insbesondere Holzbrennstoffen – ist aufgrund der Preisentwicklung für fossile Energieträger in den letzten Jahren drastisch gestiegen. Bezogen auf die gesamte Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien erzeugten allein Holzheizungen und weitere Biomasseanlagen im Bundesdurchschnitt 94 % der Wärme⁸⁾. Weil die Wärmeerzeugung mit biogenen Festbrennstoffen sehr positive Energiebilanzen aufzeigt und kostengünstig zur CO₂-Vermeidung beiträgt, kommt diesem Bereich eine enorme Bedeutung zu. Im Bereich der energetischen Biomassenutzung spielt wie bereits erwähnt die thermische Nutzung die Hauptrolle. Hier kommen verschiedene Arten und Heizungsklassen zum Tragen.

Die Bandbreite von Holzfeuerungsanlagen spannt sich von Einzelfeuerungsanlagen über nicht genehmigungspflichtige kleine und mittlere Feuerungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung bis 1 MW_{th} bis hin zu genehmigungspflichtigen Anlagen mit einer Nennwärmeleistung über 1 MW_{FWL}.

⁸⁾ Vgl. Hartmann, Reisinger et al (2007), Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen.

Die Anzahl der **Einzelfeuerungsanlagen** beläuft sich auf ca. 650.000 in Sachsen; der Holzverbrauch zur energetischen Verwendung in Einzelfeuerungsanlagen beträgt jährlich rund **800.000 t_{utro}**⁹⁾

- kleine und mittlere Feuerungsanlagen

(dazu zählen nach der 1. BImSchV alle Feuerungsanlagen, die der zentralen Wärmeversorgung dienen bzw. über eine Nennwärmeleistung größer 15 kW_{th} verfügen und nicht genehmigungspflichtig sind)

- 15 kW_{th} ≤ NWL < 100 kW_{th}: etwa 10.000 Anlagen
- 100 kW_{th} ≤ NWL < 500 kW_{th}: etwa 120 Anlagen
- 500 kW_{th} ≤ NWL < 1 MW_{th}: etwa 50 Anlagen

In der Summe werden in den Kleinf Feuerungsanlagen mit Nennwärmeleistungen zwischen 15 kW_{th} < 1 MW_{th} in Sachsen rund **220.000 t_{utro}** Holz verfeuert.

- Biomasse(heiz)kraftwerke

Der Anlagenbestand aller in Sachsen in Betrieb befindlichen Anlagen beläuft sich auf 10 (Stand November 2007). Dabei handelt es sich überwiegend um Anlagen im Leistungsbereich von 0,5 - 5 MW_{el}.

Der Gesamtbrennstoffbedarf aller Biomasse(heiz)kraftwerke in Sachsen beläuft sich auf rund 413.000 t_{utro} (Stand November 2007)¹⁰⁾ Dabei unterscheiden sich die eingesetzten Brennstoffe und Brennstoffmengen signifikant. Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 0 – 0,5 MW_{el} verwenden vorrangig Waldhackgut, wohingegen in Biomasse(heiz)kraftwerken im Leistungsbereich von 0,5 – 5 MW_{el} verstärkt Reststoffe der Holzverarbeitenden Industrie Einsatz finden. Demgegenüber wird in Biomasse(heiz)kraftwerken mit einer elektrischen Leistung von über 5 MW_{el} zusätzlich verstärkt Altholz eingesetzt. Nach der mengenmäßigen Verteilung entfallen auf die einzelnen Leistungsbereiche folgende Brennstoffanteile:

- Elektrische Leistung: 0 – 0,5 MW_{el} etwa 5.000 t_{utro}/a (ca. 1 %)
- Elektrische Leistung: 0,5 – 5 MW_{el} etwa 71.000 t_{utro}/a (ca. 17 %)
- Elektrische Leistung: >> 10 MW_{el} etwa 337.000 t_{utro}/a (ca. 82 %)

Derzeit befinden sich in Sachsen **21 Biomasseheizwerke** in Betrieb (Stand November 2007). Der überwiegende Anteil der Anlagen liegt in einem Leistungsbereich von 1 bis 2 MW_{th} (62 %), gefolgt von Biomasseheizwerken mit einer thermischen Leistung von 2 bis 10 MW_{th} (29 %). Die geringste Anlagenanzahl liegt im Leistungsbereich von über 10 MW_{th} (9 %).

Der Gesamtbrennstoffbedarf der in Sachsen auf Basis von Holz betriebenen Biomasseheizwerke beträgt ungefähr 119.000 t_{utro}/a (Stand November 2007). Zwischen den Leistungsgrößen der einzelnen Anlagen liegen deutliche Unterschiede in Bezug auf die eingesetzten Brennstoffmengen und Brennstoffzusammensetzung vor. Nachfolgend sind die jeweiligen Brennstoffmengen der einzelnen Anlagenkategorien aufgeführt:

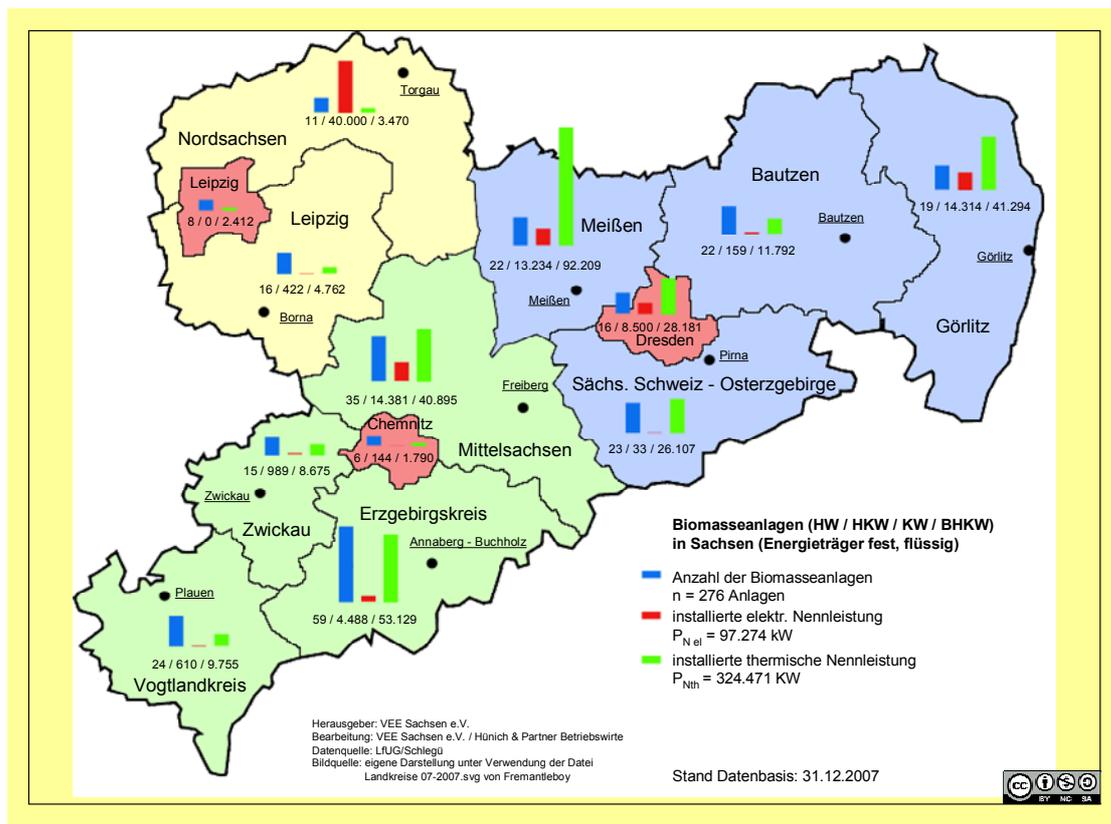
⁹⁾ Quelle: Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig. In: Weber et al (2008): Rohholzaufkommensstudie Sachsen.

¹⁰⁾ Quelle. Institut für Energetik (2007), LfUG (2007)

- Thermische Leistung: 1 – 2 MW_{th} etwa 30.000 t_{lutro}/a (ca. 25 %)
- Thermische Leistung: 2 – 10 MW_{th} etwa 32.000 t_{lutro}/a (ca. 27 %)
- Thermische Leistung: >> 10 MW_{th} etwa 57.000 t_{lutro}/a (ca. 48 %)

Im Gegensatz zu Biomasse(heiz)kraftwerken kann bei Biomasseheizwerken keine klare Differenzierung zwischen den einzelnen Leistungsgrößen und Brennstoffsortimenten getroffen werden.

Karte 3.3-1 zeigt eine Übersicht der sächsischen Biomasseanlagen mit Stand Dezember 2006. Aus dieser Übersicht ist unschwer zu erkennen, dass noch die Wärmenutzung überwiegt, wie bereits im Text erwähnt.



Karte 3.3-1: Verteilung der Biomasseanlagen nach Landkreisen

Aus den vorangegangenen Betrachtungen kann abgeleitet werden, dass ein **jährlicher Gesamtholzbedarf** für die energetische Nutzung von **etwa 1,6 Mio. t_{lutro}** in **Sachsen benötigt wird** (Stand November 2007). Zwischen den einzelnen Kategorien von Feuerungsanlagen ergibt sich ein heterogener Brennstoffbedarf. Die nachstehende Abb. 3.3-3 gibt einen Überblick zu den jeweiligen Konversionsanlagen. Auf Einzelfeuerungsanlagen entfällt dabei der größte Anteil am Gesamtbrennstoffbedarf mit 53 %, gefolgt von genehmigungspflichtigen Anlagen mit 33 % und kleinen und mittleren Feuerungsanlagen mit 14 %.

Um einige Rückschlüsse hinsichtlich der Chancen zum weiteren Ausbau der Bioenergienutzung im Bereich Holz ziehen zu können, ist eine Analyse der Brennstoffverwendung in den verschiedenen Leistungsklassen der Holzfeuerungsanlagen durchaus aufschlussreich.

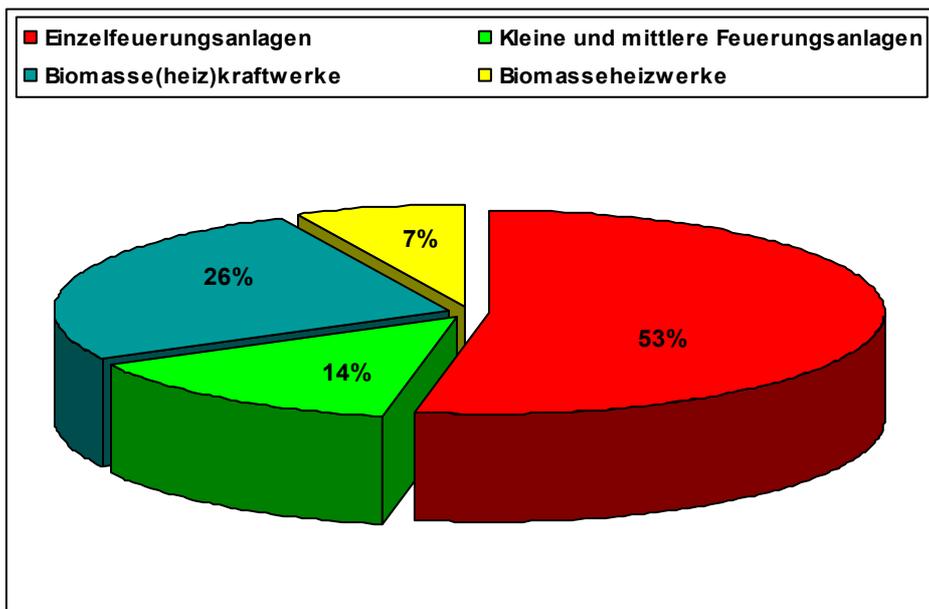


Abb. 3.3-3: Brennstoffbedarf von Holzfeuerungsanlagen nach Leistungsklassen in Sachsen (Stand 2007)

Die Abbildung und deren Aussage kann von bundesdeutschen auf sächsische Gegebenheiten übertragen werden. Sie verweist darauf, dass der Hauptbedarf der Großfeuerungsanlagen durch (kostengünstigere) Sortimente wie Alt- und Restholz abgedeckt wird¹¹⁾. Da in diesem Bereich so gut wie alle Potenziale ausgenutzt werden, stehen einem weiteren Ausbau dieser energetischen Großanlagen nur bedingte Ressourcen zur Verfügung. Diese müssten vorrangig aus Waldholzsortimenten abgedeckt werden.

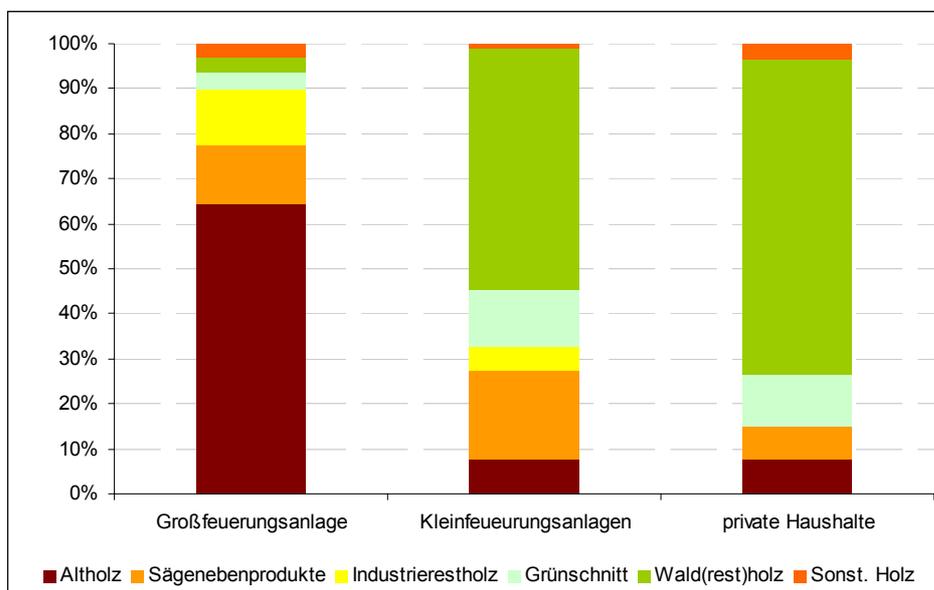


Abb. 3.3-4: Brennstoffzusammensetzung von Holzfeuerungsanlagen nach Leistungsklassen in Deutschland (Quelle: Mantau, U. (2004): Holzrohstoffbilanz Deutschland. Hamburg)

¹¹⁾ Die in Sachsen verfügbaren Mengen an Alt- und Industrierestholz betragen im Jahr 2006 schätzungsweise ca. 333.800 t und wurden bereits nahezu energetisch verwertet.

Hier stehen aber entsprechende Hemmnisse einem Ausbau entgegen: Aus dem Landes- und Körperschaftswald kann die Waldrestholzmenge (ungenutzte, im Wald verbleibende Stammabschnitte, Äste, Kronenmaterial etc.) einer großanlagentechnischen Verwendung kaum zugeführt werden. Wenn überhaupt dann kann das Waldrestholz einer Verwendung als Brennholz durch die Bevölkerung und deren Kleinfeuerungsanlagen genutzt werden. Einem Ausbau der energetischen Nutzung von Waldholz sind zwar aufgrund einer überwiegenden stofflichen Verwertung enge Grenzen gesetzt, letztendlich entscheidet aber die Holzpreisentwicklung über die stoffliche oder energetische Verwendung von Holz. Konkurrierende Sortimente stellen u. a. das Industrieholz dar, welches bei entsprechender Energieholznachfrage und -preisentwicklung zumindest teilweise einer energetischen Verwendung zugeführt werden könnte.

Abb. 3.3-5 zeigt die Teilansicht eines der modernsten sächsischen Biomasse-KW im Gewerbe- und Industriegebiet Delitzsch-West. Das Kraftwerk wird vorwiegend mit Altholz betrieben und erzeugt im Jahr etwa 155 GWh Strom. Leider haben die umliegenden Industriebetriebe bisher auf das Angebot der Wärmeauskopplung verzichtet.



Abb. 3.3-5: Biomasse-KW Delitzsch (Nordsachsen), $P_{el} = 20$ MW
Quelle: Foto, Schlegel, 09.03.2008

In der Abb. 3.3-6 stellt sich das zweite Biomasse-KW, ebenfalls in Delitzsch (Lkr. Nordsachsen) betrieben, zur Ansicht. Diese Anlage verstromt Althölzer der Klassen A I und A II. Pro Jahr werden etwa 155 GWh in die Stromnetze eingespeist, wie beim Biomasse-KW, Abb. 3.3-5, erfolgt nahezu keine Wärmeauskopplung. Die Ansiedlung von zwei großen Kraftwerken am Standort Delitzsch (unterschiedliche Betreiber) verschärft die Konkurrenzsituation auf dem Altholzmarkt.



Abb. 3.3-6: BGD Biokraftwerk Delitzsch – $P_{\text{Net}} = 20 \text{ MW}$
Quelle: Foto, Schlegel, 09.03.2008

Reserven für die energetische Nutzung von Waldholz bestehen derzeit vorwiegend im Privatwald. Hier stehen aber Hemmnisse hinsichtlich der Kleinparzellierung, fehlender Zusammenschlüsse und Kooperationen bis hin zur Nutzungskonkurrenz durch die Eigennutzung als Brennstoff in Kleinfeuerungsanlagen einem weiteren Ausbau entgegen. Eine weitere Möglichkeit bestände darin, Holz zur energetischen Nutzung auf landwirtschaftlichen Flächen (Kurzumtriebsplantagen) zu produzieren.

- Holz aus landwirtschaftlichem Anbau (Kurzumtriebsplantagen/KUP)

Die Holzproduktion im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlich genutzten Flächen mit dem Ziel der energetischen Nutzung der Biomasse befindet sich gegenwärtig noch in einer Initialphase. Bei dieser Art der Flächenbewirtschaftung handelt es sich um eine Schnittstelle zwischen Land- und Forstwirtschaft. Die Entscheidungs- und Handlungsschwerpunkte liegen allerdings bei den Landwirtschaftsbetrieben (Verfügungsrecht).

Über die Nutzung von Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf Ackerflächen lässt sich ein beachtliches energetisches Potenzial in Sachsen erschließen. Der tatsächliche Anbau zur energetischen Nutzung steht noch am Anfang. Der Flächenumfang in Sachsen beträgt gegenwärtig ca. **125 ha** (Stand November 2008).

Die mangelnde Verfügbarkeit von geeigneten Sorten und Klonen sowie die ausgeprägte Frühsommertrockenheit mit Ausfällen zwischen 60 und 100 % der 2006 angelegten Flächen sind maßgebliche Hemmnisse für Neuanlagen. Weiterhin stößt diese Art der Landnutzung bei den Landwirten auf Skepsis, verlässt er doch seine annuale Entscheidung über den jeweiligen Anbau bzw. die Fruchtfolge und würde sich mit der Anlage einer solchen KUP auf bis zu 20 Jahre festlegen. Weiterhin verhindern die hohen

Begründungskosten sowie die nach Ende der Nutzung anfallenden Rekultivierungskosten bislang eine höhere Akzeptanz dieses Systems – auch im Hinblick auf die Preisentwicklung im Marktfruchtanbau. Dennoch stellen KUP mit einem Biomasse-Ertragspektrum von durchschnittlich **(10 -12) $t_{atro}/a*ha$** bis maximal **25 $t_{atro}/a*ha$** eine beachtenswerte Alternative innerhalb der Biomasseproduktion dar.



Abb. 3.3-6: Ernte von Pappelholz auf einem 2 ha-Schlag einer KUP in Kruppenhennersdorf (Lkr. Mittelsachsen)
Quelle: Foto, Moormann, 13.02.2008

Abb. 3.3-6 zeigt die erste Ernte von Pappelholz, das auf der 2 ha großen Fläche einer KUP in der Gemeinde Kruppenhennersdorf (Lkr. Mittelsachsen) angebaut wird.

- Halmgutartige Biomasse

Halmgutartige Biomasse umfasst Stroh, Heu von Dauergrünland und Landschaftspflegeflächen sowie ein- und mehrjährige Kulturarten (z. B. Zuckerhirse, Weidelgras, Miscanthus). Trotz der beträchtlichen Nutzungspotenziale (Nebenprodukte und Energiepflanzen) werden diese bisher in Deutschland nur in geringem Umfang in Verbrennungs-/Vergasungsanlagen eingesetzt. Ursachen dafür sind die im Vergleich zu Holz schwierigeren Brennstoffeigenschaften von Halmgut-Biomasse (Gehalt an K, Cl, höherer Aschegehalt) und höhere Anforderungen an die Anlagentechnik (Minderung von Staub- und NO_x -Emissionen, Verhinderung von Verschlackung).

Verarbeitungskapazitäten:

- Wiesenburg: Anlage zur Vergasung von Strohrundballen
- Landwirtschaftliche Trocknungs- und Dienstleistungs-GmbH Grimma: Herstellung von Halmgutpellets (Kapazität: $m \approx 10.000 t/a$)

Anlagen zur Verstromung halmgutartiger Biomasse sind derzeit nicht bekannt. Auf diesem Gebiet besteht erheblicher technologischer Forschungsbedarf.

- Zusammenfassung des Verwertungsstandes des technisch genutzten Potentials fester Bioenergieträger

Im Bereich der festen Biomasse wird in Sachsen derzeit Strom und Wärme fast vollständig durch den Einsatz von Holz (Waldholz, Alt- und Industrierestholz sowie wenige Mengen aus KUP) generiert. Die Daten über die Anzahl der Holzfeuerungsanlagen und deren Leistungskennzahlen sowie über den durchschnittlichen Brennholzeinsatz erlauben eine Abschätzung der energetischen Verwendung von Holz in Sachsen.

Ausgehend von einem **jährlichen Gesamtholzbedarf** für die energetische Nutzung in Sachsen von ungefähr **1,6 Mio. t_{lutro}** nehmen Feuerungsanlagen zur ausschließlichen Wärmeerzeugung (das sind Einzelfeuerungsanlagen, kleinere und mittlere Feuerungsanlagen sowie Großfeuerungsanlagen) mit einem Anteil von 74 % des Brennstoffbedarfes den Schwerpunkt in der energetischen Nutzung ein. Der Gesamtbestand an **Holzfeuerungsanlagen** in Sachsen mit seinen Leistungskennzahlen und durchschnittlichen Energieholzeinsatz beziffern damit ein **Energieäquivalent** (theoretisch-technische Obergrenze i. S. eines Primärenergiebedarfes) von etwa **24,14 PJ**.

Lediglich 26 % - oder eine **Holzmenge** von etwa **413.000 t_{lutro}** - werden in **Biomasse-HKW** zur **Stromerzeugung** benötigt. Der energetische Wert dieser Menge entspricht bei **14.895 MJ/ t_{lutro}** einem Energieinhalt von etwa **6,15 PJ**, das sind rund **1.710 GWh**.

Bei diesen Größen darf jedoch nicht verkannt werden, dass es sich hierbei um den aus der Ableitung des in Sachsen vorhandenen Anlagenbestandes resultierenden Brennstoffbedarfes handelt. Dieser Bedarf ist nicht identisch mit den real verbrauchten Brennstoffmengen, da dieser Wert vom Jahresnutzungsgrad der jeweiligen Anlage, den Vollbenutzungsstunden pro Jahr sowie den Heizwerten für die eingesetzten Holzsortimente abhängt.

In der SMUL- Studie /28/ wird von einem Potenzial von **8,2 PJ** an fester Biomasse für das Jahr 2006 ausgegangen, das in Sachsen zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt wurde. Von dieser Menge stammten 2,3 PJ aus dem Aufkommensbereich Waldholz und 5,9 PJ aus Alt- und Industrierestholz. Diese Werte wurden anhand von Verkaufsstatistiken (insbesondere des Staatsbetriebes Sachsenforst) ermittelt und können den Anteil des im privaten Bereich genutzten Brennholzes nur unzureichend abdecken. Damit dürften diese Angaben – auch anhand der oben genannten anlagenbezogenen Bedarfswerte - als unterschätzt bezeichnet werden. Unbekannt bleibt jedoch die genaue Herkunft der in den sächsischen Holzfeuerungsanlagen verwendeten Brennstoffe. Bei Einzelfeuerungsanlagen in privaten Haushalten sowie bei kleineren und mittleren Anlagen dürfte es sich hauptsächlich um regionale Brennstoffe handeln (Waldholz, Restholz). Größere Biomasse-HW- und Biomasse-HKW beziehen ihre Brennstoffe zum Teil auch überregional, so dass nicht der gesamte oben bezifferte Brennstoffbedarf aus Sachsen kommen muss.

In der Betrachtung des **technischen Biomassepotenzials** aus der **Forstwirtschaft** (**2,25 Mio. t, entspricht 34,8 PJ**) sowie der **Alt- und Industrierestholzpotenziale** (**333.800 t, entspricht 5,9 PJ**) (vgl. Abb. 3.3-2), was einem **Energiegehalt von insgesamt 40,7 PJ** entspricht, würde allein der in allen sächsischen Holzfeuerungsanlagen installierte Brennstoffbedarf von 24,14 PJ bereits heute fast 60 % der technisch

möglichen Potenziale veranschlagen. So gibt es bereits Aussagen seitens des Staatsbetriebes Sachsenforst, die eine weitere Steigerung der Brennholzmengen für die Bevölkerung (Einzelfeuerstätten sowie kleinere Feuerungsanlagen) nur noch bedingt für möglich halten.

Schließlich kommt Waldholz zwar grundsätzlich auch weiterhin als Festbrennstoff infrage; der Schwerpunkt der Forstwirtschaft liegt allerdings in der Produktion von Holz zur stofflichen Verwertung. Deshalb wird hier vorrangig auf die dabei anfallenden Reststoffe (z. B. Waldrestholz) eingegangen. Inwieweit heute stofflich genutzte Sortimente des Industrieholzes einer energetischen Nutzung zugeführt werden können, wird maßgeblich von den Konkurrenzpreisentwicklungen abhängen.

Darüber hinaus wächst jedoch auch das Interesse, das enorme Potenzial an halmgutartiger Biomasse, die beachtliche Heizöläquivalente aufweist, zu erschließen. Notwendig ist dafür zum einen die Optimierung des Emissionsverhaltens von Biomasseanlagen. Zum anderen müssen dafür erst die rechtlichen Rahmenbedingungen geschaffen werden, die z. B. den Einsatz von Getreide als Regelbrennstoff in kleinen und mittleren Feuerungsanlagen ($P_{th} < 100 \text{ kW}$) erlauben.

Die nachstehende Abb. 3.3-7 gibt den derzeitigen Stand der Verwertung des tatsächlich genutzten technischen Biomassepotentials in Sachsen (vgl. /28/) wieder. Sie zeigt, welches Biomassepotenzial sich demzufolge aus der stofflichen und energetischen Verwertung der erneuerbaren Energieträger ergibt. Aus der Darstellung wird ersichtlich, dass der überwiegende Teil des genutzten Waldholzes, nämlich 13,01 PJ/a, stofflich verwertet werden, wohingegen **2,3 PJ/a** (639,4 GWh) energetisch genutzt werden.

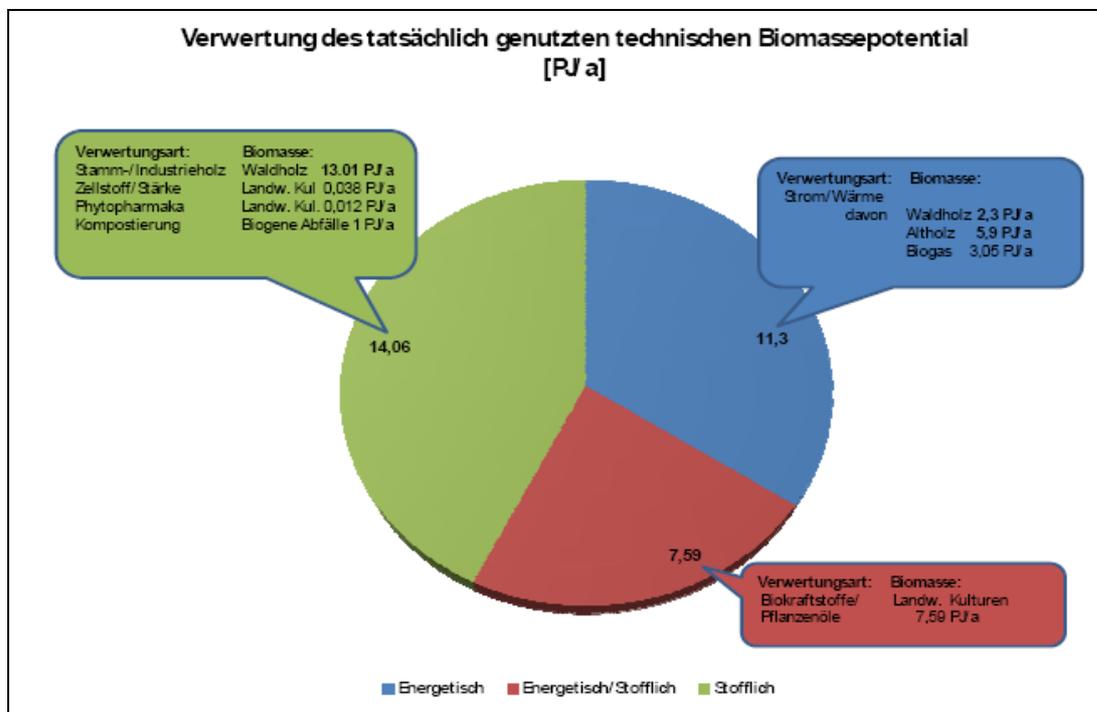


Abb. 3.3-7: Verwertung des tatsächlich genutzten technischen Biomassepotentials in [PJ/a]

Der weitere Ausbau der Nutzung von Biomasse für die Produktion von Strom und Wärme ist unverzichtbar. Potenziale werden insbesondere gesehen in der:

- gezielten Erhöhung des Rohholzmobilisierungsgrades im Privatwald,
- Erschließung des bislang ungenutzten Potenzials der Landwirtschaft (Reststoffe und Anbau entsprechender Kulturarten (z. B. KUP), ein- und mehrjährige Grasarten)
- Verbesserung der Effizienzsteigerung insbesondere bei der Wärmenutzung,
- Erprobung von Feuerungssystemen für halmgutartige Biomasse.

3.3.3. Abschätzung der Potenzialentwicklung fester Biomasse bis 2020

Die zukünftige Flächenentwicklung für die Bereitstellung landwirtschaftlicher Biomasse für die energetische oder stoffliche Nutzung lässt sich sehr schwer einschätzen und hängt im Wesentlichen von folgenden Einflussgrößen ab:

- Flächenbedarf zur Sicherstellung der Ernährung sowie der Preisentwicklung im Food-Bereich,
- Auswirkungen des Klimawandels auf die Erträge und die Anbaubedingungen,
- technischer Fortschritt,
- Entwicklung der Weltwirtschaft,
- Entwicklung des Energieverbrauchs und der Energiepreise,
- Lebensraumsprüche betroffener Arten zur Sicherung der Biodiversität in der Agrarlandschaft.

Im Anhalt an Grunert (LfL, 2007) soll ein Szenario die Möglichkeiten zum Non-Food-Anbau in Sachsen bis zum Jahr 2020 aufzeigen.

	Einheit	Ist-Stand 2006	2010	2015	2020
Ackerfläche ¹²⁾	ha	721.172	717.716	713.396	709.076
Ist-Stand Food-Fläche	ha	587.055			
Ertragszuwachs in [%] (jährlich + 1,5 % zum Ist-Stand 2006) ¹³⁾			6,14	14,33	23,18
Erforderliche Food-Fläche in [ha] unter Berücksichtigung des Ertragszuwachses			551.010	502.930	450.976
Bevölkerungsentwicklung	% zu 2006	Ist-Stand	98,0	95,5	92,9
Erforderliche Food-Fläche ¹⁴⁾	ha	587.055	539.990	480.298	418.956
Verfügbare Fläche für Non-Food	ha	134.117	177.726	233.098	290.120
Fläche für Non-Food	%	18,6	24,8	32,7	40,9

Tab. 3.3-3: Prognose der für den Non-Food-Anbau in Sachsen bis zum Jahr 2020 zur Verfügung stehenden Ackerfläche (Quelle: Grunert, LfL, 2007)

Im Freistaat Sachsen kann aufgrund des prognostizierten Bevölkerungsrückgangs von einem Rückgang der zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion benötigten Flächen und von einer Flächenzunahme für die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe ausgegangen werden.

Bis zum Jahr 2020 kann für Sachsen ein Anstieg der für den Nonfood Anbau verfügbaren Ackerfläche von derzeit **134.117 ha** auf **290.120 ha** prognostiziert werden (vgl. Tab. 3.3-3), wobei folgende Annahmen Berücksichtigung finden (nach Grunert, LfL, 2007):

- Die Bevölkerungsentwicklung ist entsprechend den Angaben des StaLa Sachsen (2007) rückläufig,
- Zugrundelegung, dass die Ackerfläche auch künftig – wie im Durchschnitt der letzten Jahre – mit einem leichten Rückgang verbunden ist (**Ø 864 ha/a**),
- Grünland wird im derzeitigen Umfang beibehalten,
- Obligatorische Stilllegung wird als Marktregulierungssystem abgeschafft,
- Pro-Kopf-Verbrauch und Selbstversorgungsgrad mit Nahrungsmitteln bleiben gleich (Stand 2005),
- der Ertragszuwachs beträgt jährlich +1,5 %.

Ob, und in welchem Umfang das Biomassepotenzial der Nonfood-Fläche einer Nutzung zugeführt wird, ist nicht nur von den bereits genannten Einflussgrößen abhängig. Maßgeblichen Einfluss haben dabei auch die in den jeweiligen Verwertungsrichtungen zu erzielenden Erlöse und die bestehenden Rahmenbedingungen (z. B. Biokraftstoffbesteuerung, Beimischungspflicht, EEG).

Unter Beachtung einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten landwirtschaftlichen Flächennutzung könnte in Sachsen bis zum Jahr 2020 das technische Biomassepotenzial von derzeit 23,7 PJ/a auf bis zu **51,3 PJ/a (14.261 GWh/a)** gesteigert werden ¹⁵⁾ (vgl. Grunert, LfL, 2007).

Hinsichtlich der in den Szenarien getroffenen Annahmen bestehen jedoch noch weitaus mehr Einflussfaktoren, die sich auf die Anbaumöglichkeiten und Potenziale auswirken. So wird weltweit für die kommenden Jahre ein enormes Wachstum der Biomasseerzeugung vorausgesagt.

Steigt die Weltbevölkerung wie prognostiziert von derzeit ca. 6,66 Milliarden bis zum Jahr 2030 um 21,6 % auf ca. 8,06 Milliarden an, müsste – bei Sicherstellung der Ernährung der Weltbevölkerung – das Flächenpotenzial für die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe langfristig jedoch zurückgehen. Die Konkurrenzsituation – Nahrungsmittelproduktion versus Bioenergieproduktion – dürfte zukünftig zu einem deutlich schärferen Wettbewerb um die benötigten Rohstoffe führen.

¹²⁾ Berücksichtigt wird der aufgrund statistischer Angaben ermittelte jährliche durchschnittliche Flächenrückgang von 864 ha

¹³⁾ D. h., dass in 2010 lediglich 92,3 %, 2015 83,9 % und 2020 75 % der 2006er Food-Fläche benötigt werden.

¹⁴⁾ Bezugsbasis ist die ermittelte erforderliche Food-Fläche unter Berücksichtigung des Ertragszuwachses

¹⁵⁾ Ermitteltes technisches Potenzial beträgt – bezogen auf die für den Nonfood-Bereich in 2006 theoretisch zur Verfügung stehende Fläche 23,7 PJ, demzufolge für die in 2020 getroffene Annahme (290.120 ha) 51,3 PJ.

- Nebenprodukte aus der Landwirtschaft

Die landwirtschaftlichen Nebenprodukte unterliegen bislang keiner Nutzungskonkurrenz und weisen, wie bereits dargelegt, ein erhebliches energetisches Potenzial auf, das derzeit allerdings nur zu einem Bruchteil genutzt wird.

- *Getreidestroh*

Für eine umfangreiche Nutzung des Strohpotenzials spricht vor allem, dass es sich um einen energiereichen Reststoff handelt, dessen Bergung mit vorhandener Erntetechnik problemlos möglich ist. Chancen für eine **energetische Nutzung** des Strohpotenzials werden vor allem bei der Verbrennung gesehen.

Darüber hinaus bieten auch die Bioethanol- und BtL-Kraftstoffherstellung sowie die Strohvergasung interessante Optionen, die zukünftig bei entsprechender Etablierung der Technik breite Anwendung finden könnten.

Aufgrund der hohen emissionsseitigen Anforderungen an Anlagen > 100 KW, die ohne kostenintensive Sekundärtechnik gegenwärtig nicht erreicht werden können, fehlt jedoch der Anreiz in Deutschland, an der Weiterentwicklung der Technik zu arbeiten. Weiterhin wäre die Herstellung von Strohpellets möglich. Weil die Brennstoffqualität maßgeblich vom Ernteprodukt abhängt, unterliegen die Gehalte an emissionsrelevanten Inhaltstoffen starken Schwankungen ¹⁶⁾.

Die höheren Kosten des Pelletbrennstoffs sind nur kompensierbar, wenn eine hohe Betriebsstundenzahl der Anlage erreicht wird und ggf. auch Logistikkvorteile gegenüber dem Brennstoff Holz ausgeschöpft werden können. Aufgrund der genannten Hemmnisse beschränkt sich gegenwärtig die energetische Nutzung von Stroh auf die Mitverbrennung als Festbrennstoff in Großkraftwerken.

Das in Sachsen jährlich zur Verfügung stehende technisch nutzbare Strohpotenzial von ca. **842.000 t (TM)** hat einen Primärenergieertrag von 14,6 PJ (**4.059 GWh/a**). Bei ausschließlicher energetischer Nutzung entspricht dieses Potenzial 4,4 % des sächsischen Endenergieverbrauchs von rund 92.000 GWh/a.

- *Nutzung des Aufwuchses von Dauergrünlandflächen*

Die teilweise stark eingeschränkte Erreichbarkeit von Dauergrünlandflächen vor allem im Bergland wirkt sich negativ auf die Erschließung dieses Potenzials aus. Darüber hinaus existieren beim Einsatz von Dauergrünland-Aufwüchsen in Feuerungsanlagen abbrandtechnische Probleme. Diese lassen sich nur durch zusätzliche kostenintensive Sekundärtechnik (Filter) vermeiden, was eine umfassende Nutzung dieses Biomassepotenzials bisher verhindert (vgl. Aussagen zur Strohnutzung). Aufgrund der höheren Wärmegestehungskosten, sind Heupellets gegenüber dem Einsatz von Getreide-, Stroh- und Holzpellets sowie der Heizölverbrennung ¹⁷⁾ wirtschaftlich unterlegen und stellen deshalb gegenwärtig noch keine Alternative zu herkömmlichen Brennstoffen dar. Die Biogasnutzung des Aufwuchses ist nur wirtschaftlich, wenn durch hohe Erträge und beste Qualität eine hohe Biogasausbeute erreicht werden kann. Deshalb kommen

¹⁶⁾ KIESEWALTER, S.: Pelletsproduktion aus halmgutartiger Biomasse (LfL, 2006)

¹⁷⁾ RÖSCH, CH. et al.: Perspektiven einer nachhaltigen Grünlandnutzung zur Energieerzeugung (2006)

die Aufwüchse von extensiven Flächen, Streuobstwiesen, Biotopen sowie Flächen mit starker Hangneigung nur bedingt in Frage, da durch die späte Ernte pro Jahr der Ligninanteil in den Gräsern relativ hoch ist und somit die Biogasausbeute gering ausfällt.

Würde aufgrund der Grünland-Umbruchsbeschränkungen (Cross-Compliance-Regelung und Regelungen entsprechend dem Sächsischen Naturschutzgesetz) die sächsische Dauergrünlandfläche relativ konstant bleiben (ca. **180.000 ha**), könnte (bei einem durchschnittlichen Ertrag von **5 t/ha** und einem Nutzungsgrad von ca. 20 %) jährlich ein technisches Potenzial von ca. 180.000 t (3,3 PJ) zur Verfügung gestellt werden (entspricht einem Anteil von ca. 1 % am Endenergieverbrauch).

Bereitstellung forstwirtschaftlicher Biomasse

- Tatsächliches Rohholzaufkommen in Sachsen

Auf der Grundlage der amtlichen Statistik, die für den Staats- und Körperschaftswald sichere Werte angibt, und den Ergebnissen einer Waldbesitzerbefragung wurde für ganz Sachsen das tatsächliche Rohholzaufkommen im Rahmen einer Rohholzstudie (vgl. Weber et al, 2008) quantifiziert.

Die Ergebnisse erlauben erstmals eine qualifizierte Einschätzung des Holzeinschlags und der weiteren Holzverwendung für alle Waldbesitzarten im Freistaat Sachsen. Im öffentlichen Waldbesitz schwankt die Holzeinschlagsmenge im Zeitraum von 2002 – 2006 zwischen 1 und 1,3 Mio. Efm o. R. [m³] jährlich. Im Privatwald können für diese Periode durchschnittlich 1 Mio. Efm o. R. [m³] pro Jahr angenommen werden. Daraus ergibt sich, dass in Sachsen im Untersuchungszeitraum (**2 – 2,3**) Mio. Efm o. R. [m³] Rohholz im Jahr eingeschlagen worden sind, wovon ca. (1,5 – 1,8) Mio. Efm o. R. [m³] an den Markt abgegeben wurden. Da die sich ergebende Differenz von (0,2 – 0,8) Mio. Efm o. R. [m³] sich nicht am Holzmarkt und demzufolge nicht in Statistiken niederschlug, waren bisherige Studien oft von zu geringen Nutzungsmengen ausgegangen. Diese Tendenz spiegelt auch die SMUL-Studie /28/ wider. Hier wurde für das Jahr 2006 von einer Nutzungsmenge von 1,767 Mio. Efm ausgegangen. Hintergrund dieser unterschiedlichen Werte ist der Umstand, dass für die Kategorie des Privatwaldes keine vollständigen Angaben existieren. Insbesondere im Kleinprivatwald ist die selbst genutzte Holzmenge bislang stark unterschätzt worden. Zieht man die Werte zu den in Sachsen installierten Holzfeuerungsanlagen in die Betrachtung ein, wird sehr schnell klar, dass zu deren Betrieb große Mengen an – oft selbst genutzten und aufgearbeiteten – Brennholz notwendig sind. Die ausgewiesene Differenz von (0,2 – 0,8) Mio. Efm weist genau auf diese Holzmenge hin, die somit sehr wahrscheinlich einer energetischen Verwendung zugeführt wurden.

Die in /28/ ausgewiesenen Holzanteile von 212.000 Efm, die im Jahr 2006 einer **energetischen Verwendung** zugeführt wurden, dürften damit eher als untere Grenze der tatsächlich energetisch verwendeten Holzmenge angesehen werden. Der tatsächliche Wert kann aufgrund besagter Informationsdefizite nicht konkret ermittelt werden, dürfte aber eine Größenordnung von maximal bis zu **850.000 Efm** annehmen. Dieser Wert entspricht einer Menge von ungefähr 518.000 t_{utro} und einem Primärenergiegehalt von **7,82 PJ (2.174 GWh)**.

- Zusätzlich mobilisierbares Rohholzaufkommen bis 2020

Im Gegensatz zur Landwirtschaft kann die Forstwirtschaft nur langfristig auf geänderte Umwelt- und Rahmenbedingungen reagieren und demzufolge auch nur begrenzt kurzfristigen Einfluss auf das forstwirtschaftliche Biomassepotenzial ausüben. Eine sichere Schätzung der Höhe der Holzproduktion unter Berücksichtigung der prognostizierten Klimaveränderungen, wie z. B. tendenziell abnehmender Niederschlag bei gleichzeitiger Temperaturerhöhung und einer sich ändernden Baumartenzusammensetzung ist derzeit noch nicht möglich. Deshalb zielen die Szenarien zur Bereitstellung forstwirtschaftlicher Biomasse **primär auf den Erhalt** bzw. **die Erhöhung der Stabilität** der Waldökosysteme ab (vgl. /28/).

Das Holzaufkommen (vgl. Tab. 3.3-4) wurde in dieser Studie im Rahmen der Bundeswaldinventur (BWI) II prognostiziert. Basis derartiger Prognosen ist die Altersstruktur der Waldbestände. Diese wird in Sachsen durch die 40 – 60-jährigen Bestände bestimmt, so dass die aktuelle Nutzung unter dem laufenden Zuwachs liegt, da in Beständen in diesem Alter in der Regel nur so genannte Vor- bzw. Pflegenutzungen erfolgen. Erst in den folgenden Jahrzehnten nähert sich die Nutzung mit dem Aufbau von Verjüngungsvorräten und der verstärkten Nutzung der dann älteren Bestände dem laufenden Zuwachs und führt schließlich zu einem Vorratsabbau.

Waldeigentumsart	Prognoseperiode		
	2008 - 2012	2013 - 2017	2018 - 2022
	Holznutzungspotenzial [m ³ /a (Efm)]		
Staatswald (Land)	999.000	1.000.000	1.243.000
Körperschaftswald	231.000	213.000	314.000
Privatwald	1.025.000	848.000	905.000
insgesamt	2.255.000	2.061.000	2.462.000
Primärenergieertrag in [PJ/a]	19,66	17,96	21,45

Tab. 3.3-4: Prognose der Bundeswaldinventur II zum Holzaufkommen in Sachsen
(Quelle: SMUL, 2007, /28/)

Nach der Prognose der „Bundeswaldinventur II“ ist bis zum Jahr 2020 mit einem Anstieg des Primärenergieertrages von derzeit 15,31 PJ/a auf 21,45 PJ/a (61,6 % des technischen Potenzials bei Unterstellung eines gleichbleibenden Zuwachses) zu rechnen. Der prognostizierte Anstieg des Holzaufkommens beruht im Wesentlichen auf einer Zunahme im Privatwald. Dazu ist die Mobilisierung der bisher ungenutzten Reserven notwendig.

Diese Nutzungsreserven im Privatwald stehen im Zusammenhang mit den Eigentümerinteressen und der Betriebsstruktur. Da etwa 90 % der Forstbetriebe Waldflächen unter 5 ha besitzen, haben diese Kleinbetriebe allein keinen direkten Marktzugang und einen geringen Professionalisierungsgrad. Beides verhindert eine gewerbliche Verwendung, unabhängig davon, ob diese stofflich oder energetisch orientiert ist. Diese Umstände sind im Hinblick auf die Etablierung und den Ausbau weiterer großer Biomasse-Heiz-(Kraft-)Werke als Restriktionen zu bewerten. Gelingt es nicht eine kontinuierliche Brenn-

stoffversorgung für mögliche neue (Groß-)Anlagen sicher zu stellen, können sich mögliche Investitionen auf Dauer nicht amortisieren. Anders als bei der Versorgung bestehender Anlagen hauptsächlich mit Alt- und Restholz stehen diese Sortimente für Zubauten am Markt nicht mehr zur Verfügung. Es scheint im Hinblick auf den zukünftigen Ausbau des Biomasseanlagenbestandes sinnvoller zu sein, auf **dezentrale kleine und mittlere Anlagen** (Bsp. KWK-Anlagen) zu setzen.

Im Bereich der Einzelfeuerstätten sowie der kleinen Holzfeuerungsanlagen, vorwiegend in privaten Haushalten, gestaltet sich der Aufwand für die eigene Brennholzwerbung als minimal und kann prinzipiell von jedem Eigentümer selbst getragen werden. Bedingt durch die steigenden Preise für fossile Energieträger wie Öl und Gas gewinnt Brennholz zunehmend an Bedeutung. Diese Mengen stehen für die gewerbliche Holznutzung nicht zur Verfügung. Die Mobilisierung bestehender Holznutzungspotenziale im Privatwald mit dem Ziel der gewerblichen Verwendung bedarf aufgrund der beschriebenen Strukturen eines relativ hohen Koordinations- und Steuerungsaufwandes. Ohne den Aufbau sog. **Energieholz-Netzwerke** oder **Energieholz-Verbünde** kann die gewerbliche Brennstoffversorgung nicht gewährleistet werden. Vorhaben dieser Art gilt es zu unterstützen und zu forcieren.

Vergleicht man die Prognosewerte aus Tab. 3.3-3 mit denen aus der Rohholzstudie Sachsen (vgl. Weber et al, 2008), gelangt man zu anderen Szenario-Werten.

Das zukünftig mobilisierbare Rohholzaufkommen wurde in dieser Studie zunächst für vier verschiedene Szenarien, die sich hinsichtlich der waldbaulichen Steuerung und vor allem der Zieldurchmesser und Umtriebszeiten unterscheiden, simuliert. Während für alle Waldbesitzarten (Staatswald, Körperschaftswald, Privatwald) das Basisszenario (1) und das BZT ¹⁸⁾-Szenario (2) berechnet wurden, sind die Szenarien 3 (moderate Nutzung) und 4 (offensive Nutzung) nur für den Privat- und Körperschaftswald entwickelt worden. Das potentielle Rohholzaufkommen bis zum Jahr 2020 beträgt im Staatswald bei Annahme des Szenarios 2 im Mittel **1,4 Mio. Efm o.R. [m³] / a**. Insgesamt ergibt sich aus der Kombination des Szenarios 2 (BZT-Szenario) für den Staatswald und des Szenarios 4 (offensive Nutzung) für den Privat- und Körperschaftswald als **maximale Einschlagsvariante** ein Wert von ca. **3,7 Mio. Efm o.R. [m³] / a** oder einem **Primärenergieertrages** von **32,24 PJ/a (8.963 GWh/a)**.

Gegenüber den 2,46 Mio. Efm bzw. 21,45 PJ/a aus der SMUL-Studie /28/ definiert dieses Szenario eine Obergrenze dessen, was unter maximal möglicher Ausnutzung der Rohholzpotenziale in allen sächsischen Waldeigentumskategorien realisierbar erscheint. Ob und inwieweit diese Einschlagsprognosen eintreffen, hängt wiederum von vielen Einflussfaktoren ab, ebenso der Anteil dieses technischen Potenzials, der stofflich oder energetisch genutzt wird.

Aus der Differenz zwischen dem oben erwähnten tatsächlichen und dem potenziellen Rohholzaufkommen kann demnach auf ein **zusätzliches Nutzungspotenzial** von (1,0 – 1,7) Mio. Efm o.R. [m³] / a, im Mittel **1,4 Mio. Efm o.R. [m³] / a**, geschlossen werden. Welche Anteile dieses Potenzials stofflich oder energetisch genutzt werden, kann schwer abgeschätzt werden. Die Erzeugung von Stamm- und Industrieholz zur stofflichen Nutzung wird auch in Zukunft Priorität im Rahmen der Waldbewirtschaftung besitzen und den Hauptteil (> 80 % der Gesamtnutzung) einnehmen.

¹⁸⁾ BZT -. Bestandeszieltypen

- Zusammenfassung der Potenzialentwicklung im Bereich der festen Biomasse

Die Abschätzung des technisch nutzbaren Potenzials an fester Biomasse beruht auf den in den vorigen Abschnitten getroffenen Annahmen und Prognosen. So wurde im Bereich der Landwirtschaft unterstellt, dass im Jahr 2020 theoretisch ca. **290.000 ha** Ackerland für den Non-Food-Anbau zur Verfügung stehen (vgl. Grunert, LfL, 2007). Von diesen 290.000 ha werden etwa 65.000 ha Anbaufläche für die stoffliche Verwendung (Pflanzenöle, Zellstoff, Stärke, Phytopharmaka, etc.) sowie 108.000 ha landwirtschaftliche Kulturen für den Biokraftstoffbereich veranschlagt. Damit verbleibt für den **Anbau von Energiepflanzen** eine Fläche von **117.000 ha**.

Im forstlichen Aufkommenssektor kann bei einer offensiven Erschließung aller Einschlagspotenziale und unter der Voraussetzung eines weiterhin stattfindenden Vorratsaufbaus und Bestandesstabilisierung ein Gesamteinschlag von **3,7 Mio. Efm [m³]** im Jahr 2020 als maximale Einschlagsvariante beziffert werden. Wenn von diesem Gesamteinschlag 80 % stofflich und 20 % energetisch genutzt werden (was wiederum gegenüber anderen Annahmen den hohen Energieholzanteil bevorzugen würde), ergäbe sich daraus ein Biomassepotenzial von 740.000 Efm [m³] oder Primärenergie in der Größe von 6,81 PJ/a (1.893 GWh/a).

Die nachstehende Übersicht (Tab. 3.3-5) soll eine Abschätzung der festen Biomassepotenziale, ohne Berücksichtigung der Biogas- und Kraftstoffschiene im Jahr 2020 verdeutlichen.

Energetische Nutzung der Biomasse im Bereich Strom/Wärme	
Feste Biomasse aus dem Bereich	Biomassepotenzial in [PJ/a]
- Waldholz (740.000 Efm)	6,81
- landwirtschaftliche Kulturen (117.000 ha)	20,7
- Altholz	5,0
- Getreidestroh (24 % des technischen Potenzials)	3,5
Primärenergieertrag PJ/a	36,01

Tab. 3.3-5: Abschätzung der technisch nutzbaren festen Biomassepotenziale im Jahr 2020

Das technisch nutzbare Potenzial an fester Biomasse (ohne Biogas) zur energetischen Verwendung in den Bereichen Strom und Wärme kann im Jahr 2020 im Freistaat Sachsen auf bis zu 36 PJ/a (**10.010 GWh/a**) gesteigert werden. Voraussetzung hierfür ist die optimale Nutzung aller Reserven des Potenzials an nachwachsenden Rohstoffen / Biomasse, einschließlich des politischen Willens, die notwendigen Klimaschutzmaßnahmen zu verwirklichen.

Nach dem gegenwärtigen technologischen Stand der Biomasseenergienutzung müsste die Aufteilung zwischen **Strom** und **Wärme** im Verhältnis **30** zu **70** vorgenommen werden. Demzufolge könnten rund **3.003 GWh/a** Strom erzeugt werden. In Tab. 3.3-6 sind die wichtigsten Ergebnisse dargestellt. Biomasseenergie im Verbund mit den anderen erneuerbaren Energieträgern kann bereits bis 2020 einen hohen Anteil am sächsischen Stromverbrauch absichern.

Biomasseenergie (fest) bis 2020 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesamtpotenzial ▪ Strom ▪ Wärme ▪ Stromertrag [E] (30 %) ▪ Wärmeertrag [Q] (70 %) 	36.01 PJ/a / 10.010 GWh/a 10,8 PJ/a 25,2 PJ/a 3.003 GWh/a 7.007 GWh/a
Äquivalentversorgung Haushalte (HH)	1.220.000 HH △ 55,2 %
Anteil am Stromverbrauch 2020 2007: $E_{\text{Verb}} \approx 21.000 \text{ GWh}$ (geschätzt)	14,3 %
CO₂-Reduzierung $f_{\text{CO}_2} = 0,922 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}_{\text{el}} /14/$	2.770.000 t/a

Tab. 3-3-6: Zusammenfassung der Ergebnisse Biomasseenergienutzung bis 2020

3.3.4 Biogasnutzung

3.3.4.1 Übersicht Biogas

Der gasförmige Energieträger Biogas entsteht sowohl in Biogas- und Kläranlagen mit nachgeschalteter Faulung als auch in Deponien. Die verschiedenen organischen Substrate, welche durch den anaeroben Abbau zu Biogas umgewandelt werden können, sind in Abb.3.3.4-1 dargestellt. Biogas besteht zu 50-70 % aus Methan (CH_4) und zu 30-50 % aus Kohlendioxid (CO_2) sowie aus verschiedenen Spurenstoffen wie Schwefelwasserstoff, Wasser und Stickstoff. Abhängig vom Methangehalt besitzt es einen Brennwert von **(5,5 bis 6) kWh/m³**.

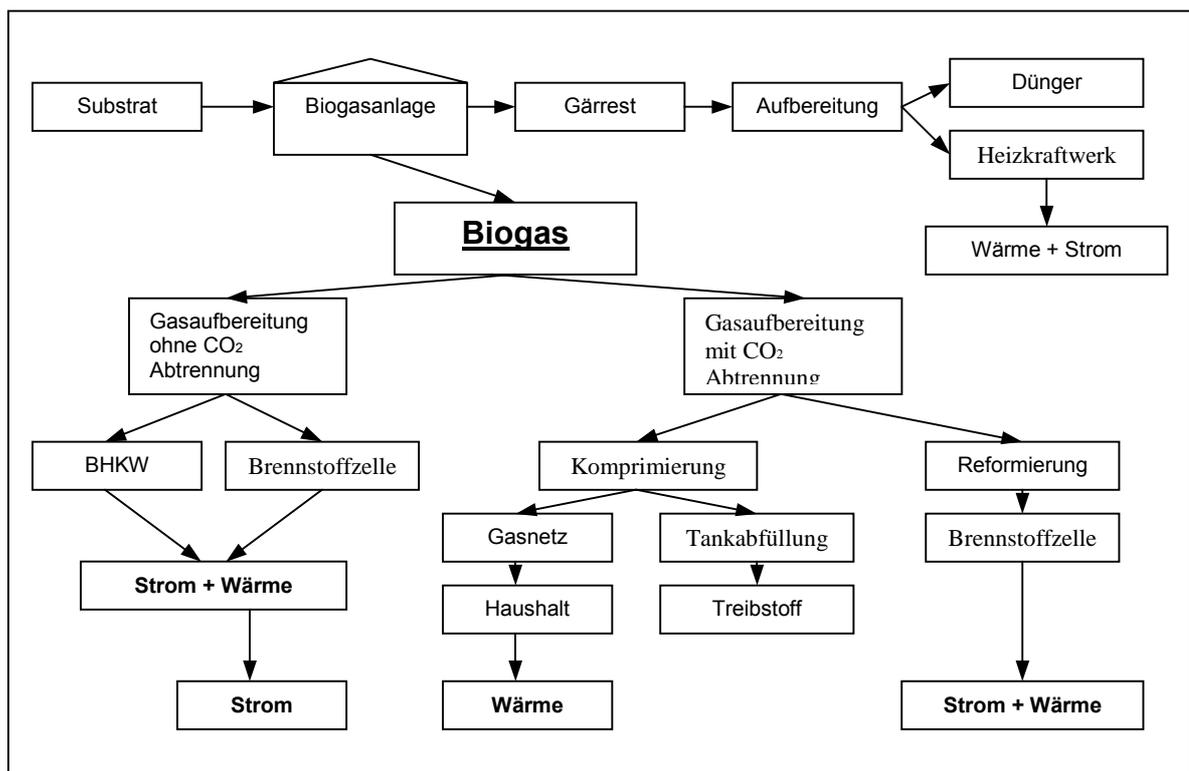


Abb. 3.3.4-1: Übersicht Biogas, Substrate, Umwandlung, Nutzung

Das Biogas kann auf unterschiedlichem Weg energetisch genutzt werden Abb. 3.3.4-1).

Die derzeit etablierteste Methode und der neueste Stand der Technik ist die Verbrennung in einem motorischen Blockheizkraftwerk (BHKW). Hierbei werden aus der im Bio-Methangas enthaltenen Primärenergie max. 40 % in elektrischen Strom und ca. 60 % in Wärmeenergie umgewandelt. Die Wärme steht dabei mit einem maximal möglichen Temperaturniveau von 120 °C zur Verfügung /90/.

Bei den anderen Techniken für die Verstromung des anfallenden Biogases (u. a. Mikrogasturbine, Brennstoffzelle und Stirlingmaschine) besteht noch teilweise erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. In den nächsten Jahren ist hier allerdings noch viel zu erwarten, da schon heute in Versuchsanlagen ein elektrischer Wirkungsgrad von bis zu 50 % möglich ist.

Bei der energetischen Nutzung des Biogases steht die Stromerzeugung im Vordergrund, da die zur Verfügung stehende Wärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) häufig nur teilweise genutzt werden kann. Hier besteht allerdings die Möglichkeit mit Organic-Rankine-Cycle (ORC) diese Wärme in Strom umzuwandeln. Damit könnte der elektrische Gesamtwirkungsgrad von z. B. 40 % auf 44 % erhöht werden. Aber auch mit dieser Technik gibt es bisher nur geringe Erfahrungen /90/.

Das Biogas kann aber auch aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist werden. Dazu sind verschiedene Verfahren auf dem Markt vertreten (z. B. Druckwäsche, Druckwechseladsorption und Membranverfahren). Zur Einspeisung ins Erdgasnetz, wie auch zur Verwendung als Kraftstoff muss das Biogas gereinigt und dadurch der Methangehalt von ca. 40 bis 75 % auf über 96 % erhöht werden. Kohlenstoffdioxid (CO₂), Schwefelwasserstoff (H₂S), Wasser (H₂O), Ammoniak (NH₃) und gegebenenfalls weitere Komponenten müssen entfernt werden.

Bei der Potenzialberechnung muss beachtet werden, dass die Biogasanlage selbst ca. 3 – 8 % des Stromes und bis 30 % der Wärme als Prozessenergie verbraucht. Aus der Bruttoenergie des Biogases lassen sich durch die Verstromung ca. 35 – 40 % Strom sowie 45 % Wärme erzeugen. Der Rest sind Verluste, welche bei der Umwandlung entstehen. Nicht nur das Biogas kann energetisch genutzt werden. Auch der Gärrest aus Biogasanlagen könnte mit der Abwärme des BHKW getrocknet und als Zusatzbrennstoff in Kohleheizkraftwerken verbrannt werden.

Grenzen der Biogaspotenziale

Laut dem Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) bietet die Biomasse unter den erneuerbaren Energien ein großes Potenzial im Sinne des Klimaschutzes. Dieses Potenzial ist aber stark an bestimmte Rahmenbedingungen gekoppelt. So weisen die biogenen Reststoffe vor allem land-, forst- und abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen, wie z.B. die Anbau- und Bewirtschaftungsformen und Konkurrenznutzungen, auf. Aber auch die sozioökonomischen Einflüsse, wie Bevölkerungsentwicklung, Altersstruktur, Umweltbewusstsein und Konsumverhalten, haben Einfluss auf die Potenziale. Die Potenziale der nachwachsenden Rohstoffe sind in besonderem Maße von den getroffenen Annahmen, wie der Produktionssteigerung im Bereich Land- und Forstwirtschaft, von den Annahmen des Selbstversorgungsgrades im Bereich Nahrungsmittelversorgung sowie vom Naturschutz abhängig. Diese Rahmenbedingungen können sich im

Zeitverlauf ändern. Für die Prognose von Potenzialen für zukünftige Zeitpunkte müssen daher unterschiedliche Annahmen über die zukünftigen Rahmenbedingungen zugrunde gelegt werden, so dass sich unterschiedliche Prognosen bezüglich der Potenziale ergeben /98/.

In mehreren Studien wurde versucht, die nutzbaren Potenziale von Biomasse zur energetischen Nutzung in Deutschland zu prognostizieren. Dabei wurden verschiedene technische und ökologische Restriktionen berücksichtigt. Die wichtigsten Studien für Deutschland wurden vom SRU miteinander verglichen. Alle Studien zeigen dabei je nach Szenario ein unterschiedlich hohes Potenzial. Die einzelnen Studien sind aufgrund der nicht ausreichenden näheren Erläuterungen der Rahmenbedingungen nicht bzw. nur schwer miteinander zu vergleichen.

Auch für Sachsen wurde vom Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft das Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen und Biomasse bewertet /28/. Die Ausweisungen der einzelnen Potenziale in der hier vorliegenden Studie wurden z. T. an die o. g. Studie angelehnt. Darin wurden die technisch nutzbaren Potenziale für Sachsen ausgewiesen.

Das technisch nutzbare Potenzial ist in der vorliegenden Studie unter den jetzigen Bedingungen (Ackerfläche und z. T. Tieranzahl gleichbleibend) als auch unter geänderten Voraussetzungen, Bedingungen (z. B. Bevölkerungsrückgang und sinkende Nutzung der Ackerfläche für die Nahrungsmittelversorgung) ermittelt worden.

3.3.4.2 Potenzialabschätzung für 2007

Die verfügbare Biomasse setzt sich einerseits aus den nutzbaren biogenen Reststoffen und andererseits aus den zu gewinnenden nachwachsenden Rohstoffen zusammen. Der Ertrag pro Fläche bzw. Großvieheinheit (GV) und die Gasausbeute für die einzelnen Substrate (in Nm³/ kg oTS) wurden größtenteils aus /90/ /85/ sowie aus /82/ und /109/ verwendet. Da in den Quellen häufig Spannweiten angegeben sind, wurden meist Mittelwerte gebildet und eingearbeitet. Die verwendeten Daten für die Tieranzahl und die Flächennutzung wurden weitgehend vom Statistischen Landesamt Sachsen (2005-2007) bezogen.

- Wirtschaftsdünger

Der Wirtschaftsdünger bzw. die Exkremate von Tieren aus der Landwirtschaft gelten als die Hauptsubstrate für Biogasanlagen (BGA). Das Aufkommen von Biogas hängt bei den Wirtschaftsdüngern von der anfallenden Kotmenge und dessen organischen Trockensubstanzgehalt ab. Durch die Aufgliederung der Tiere nach Arten und deren Einteilung nach dem Alter in Großvieheinheiten (**GV**) wird dies mit berücksichtigt. Die Umrechnung der Tieranzahl auf GV in Tab. 3.3.4-1 wurde nach dem GV-Schlüssel in /90/ erarbeitet. Bei der Viehzählung wurden nur Betriebe berücksichtigt, die mindestens acht Rinder oder Schweine oder 200 Hühner aufweisen konnten (StaLA). Die Art der Haltung ist ebenfalls für den energetisch nutzbaren Anteil an Tierexkrementen für die Vergärung entscheidend. So werden z. B. Rinder, Schafe, Pferde, Gänse oder Enten ganz oder teilweise im Freiland gehalten. Bei der Ermittlung der technisch möglichen Potenziale wird dies in den unterschiedlichen Prozentsätzen deutlich. Bei Pferden kommt das geringe nutzbare Potenzial dadurch zustande, dass der Festmist dieser Betriebe

wirtschaftlich nur in betriebsfremden Biogasanlagen vergoren werden kann /94/. Der Festmistanteil wurde bei den Rindern mit **0,5 kg/GV** und einem Verrottungsfaktor von **0,65** berücksichtigt.

Wirtschaftsdünger für 2007					
Substrate	Aufkommen	Gasausbeute	Potenzial		Energiegehalt
	GV	Nm ³ Biogas / a	%	Nm ³ Biogas/ a	5,7 kWh/m ³ Biogas bei 57% CH ₄ in MWh
Rindergülle	408.425	213.851.330	70	149.695.931	853.267
Schweinegülle	78.570	37.619.316	82	30.847.839	175.833
Schafsmist	10.752	9.120.492	80	7.296.393	41.589
Pferdemist	12.693	10.822.052	10	1.082.205	6.169
Geflügelmist	14.021	18.871.705	85	16.040.949	91.433
Summe		290.284.894		204.963.318	1.168.291

Tab. 1: Wirtschaftsdünger 2007; verändert nach /94/

- Landwirtschaftliche Reststoffe und Energiepflanzen

Futterreststoffe, landwirtschaftliche Reststoffe und Energiepflanzen können als Gärsubstrate in der Co- oder Monovergärung energetisch genutzt werden. In Tab. 3.3.4-2 sind die ermittelten Potenziale der einzelnen Reststoffe aufgeführt.

LW Reststoffe und Energiepflanzen für 2007					
Substrate	Aufkommen	Gasausbeute	Potenzial		Energiegehalt
	ha	Nm ³ Biogas/ a	%	Nm ³ Biogas/ a	5,4 kWh/m ³ Biogas bei 54% CH ₄ in MWh
Futterreststoffe		28.175.199	70	19.722.639	106.502
Zuckerrübenblatt	15.627	37.129.811	40	14.851.924	80.200
Getreidestroh	384.119	722.416.444	33	238.397.427	1.287.346
Rapsstroh	141.902	164.231.699	40	65.692.679	354.740
Dauergrünland/ Grassilage	190.260	301.371.840	16	48.219.494	260.385
Maissilage	11.817	127.419.402	100	127.419.402	688.065
GPS	3.310	9.452.433	100	9.452.433	51.043
Summe		1.390.196.828		523.755.999	2.828.282

Tab. 3.3.4-2: Landwirtschaftliche Reststoffe und Energiepflanzen 2007; verändert nach /94/

Die Futterreststoffmenge wurde dabei mit 5 % der Futtermenge pro GV (ca. 219 kg TS/GV) berechnet, was sich nach /94/ aus den durchschnittlichen Praxiswerten ergab. Bei der Datenerhebung der Nutzung der Ackerfläche wurden alle Betriebe einbezogen, die eine landwirtschaftlich genutzte Fläche von mindestens zwei Hektar aufweisen konnten (StaLA).

Der Flächenanteil für die Rüben wurde in Ermangelung an Daten für 2007 anteilmäßig von 2006 übertragen. So standen für 2007 nur die Daten für den Anteil der Hackfrüchte zur Verfügung, so dass der Anteil Kartoffeln und Zuckerrüben von den Daten von 2006 extrapoliert werden musste. Beim Einsatz von landwirtschaftlichen Nebenprodukten ist zu beachten, dass nicht alles für die Vergärung genutzt wird. So sind z. Z. die Zuckerrübenblätter aufgrund von umgestellten Erntetechnologien nicht mehr problemlos

zu ernten. Die Rübenblätter verbleiben daher häufig als Gründüngung auf den Ackerflächen.

Beim technisch nutzbaren Potenzial für Stroh wurde vom Gesamtpotenzial die Verwendung als Einstreu für Tiere zu 34 % und als Strohdüngung für die Ackerflächen zu 33 % abgezogen. Das verbleibende Potenzial wird allerdings zum Großteil einer Verbrennung zugeführt. Eine Vergärung als Co-Substrat mit vorherigem Aufschluss (Zerkleinerung und Hydrolyse) ist allerdings möglich und energetisch durchaus sinnvoll. Auch das Rapsstroh wird wie die Rübenblätter meist auf der Ackerfläche belassen und untergepflügt.

Für Dauergrünland können von der Gesamtfläche von 190.260 ha 20 % für die energetische Nutzung verwendet werden. Von diesen Flächen wurden wiederum 20 % abgezogen, da zuerst schlechte Ertragsflächen aus der Futterproduktion herausfallen. Schließlich kann unter erschwerten Bedingungen teilweise bzw. gar nicht abgeerntet werden. Es wurde angenommen, dass das Grünland als Grassilage und nicht als Heu für die Biogasanlage zur Verfügung steht /94/.

Insgesamt wurden in Sachsen im Jahre 2007 auf einer Fläche von 126.330 ha Energiepflanzen für Biomasse angebaut. Davon erfolgte der Anbau auf 42.433 ha Stilllegungsflächen (62 % der Gesamtstilllegungsfläche), auf 23.897 ha außerhalb der Stilllegungsflächen mit Energiepflanzenprämie (EP) und auf ca. 60.000 ha (geschätzt nach FNR Jahresbericht 2005/06 und Grunert 2008 in /93/.) so genannten Basisflächen ohne EP /93/. Die Anteile von Energiepflanzen auf den Basisflächen wurden auf 50 % Raps, 30 % Getreide und 20 % Sonstiges geschätzt, wovon Mais 15 % und Ganzpflanzensilage (GPS) 5 % ausmacht. Dabei ist angenommen, dass Mais und GPS als Substrate für die Biogasanlage Verwendung fanden. Von den Ackerflächen, die für den Anbau von Energiepflanzen genutzt wurden, fanden ca. 12 % für die Substratgewinnung für Biogasanlagen Verwendung. Als Hauptsubstrat wurde dabei Mais als Maissilage verwendet.

- Reststoffe aus dem verarbeitenden Gewerbe

Abfälle aus dem verarbeitenden Gewerbe werden überwiegend von den Abfallerzeugern in eigener Verantwortung gemäß § 5 Abs. 2 KrW-/AbfG verwertet. Somit konnten diese vom StaLA nicht mit erfasst werden. Als wichtigste Zweige der Agroindustrie sind hier die Bierherstellung, Alkoholgewinnung, Kartoffelverarbeitung und Zuckergewinnung zu nennen. Anfallende Reststoffe wie Biertreber, Getreide-, Kartoffel-, Obstschlempe, Kartoffelpülpe, Prozesswasser sowie Pressschnitzel und Melasse werden in der Lebensmittelindustrie als Tierfutter und teilweise gleich als Dünger auf den Feldern verwendet /85/. Da sich die Datengewinnung als schwierig herausstellte, wurde hier nur der Biertreber als Beispiel abgehandelt.

In Sachsen gibt es 58 Brauereien, die 2007 insgesamt 8,829 Mio. Hektoliter Bier hergestellt haben (BrauerB). Pro Hektoliter fallen dabei ca. 19,2 kg Biertreber sowie andere Reststoffe wie Hefe und Heißtrub an. Es wurde angenommen, dass 50 % davon als Tierfutter verwendet werden und der Rest für die Vergärung in Biogasanlagen verfügbar wäre. Bioabfälle für das Gewerbe wurden z. T. durch das statistische Landesamt erfasst (Tab. 3.3.4-3). Die ausgewiesenen Bioabfälle wurden fast zu 100 % kompostiert.

Reststoffe aus dem weiterverarbeitenden Gewerbe für 2007					
Substrate	Aufkommen	Gasausbeute	Potenzial		Energiegehalt
	t FM/a	Nm ³ Biogas/ a	%	Nm ³ Biogas/ a	5,4 kWh/m ³ Biogas bei 54% CH ₄ in MWh
Bioabfälle aus GW	8.229	658.320	90	592.488	3.199
Bioabfälle aus Behandlungsanlagen	2.188	175.040	70	122.528	662
Biertreber	169.517	19.007.071	50	9.503.536	51.319
Summe		19.840.431		10.218.552	55.180

Tab. 3.3.4-3: Reststoffe aus dem weiterverarbeitenden Gewerbe 2007

- Organische Reststoffe aus Haushalten und Kommunen

Die Daten der organischen Reststoffe aus Haushalten und Kommunen wurden aus der Abfallbilanz 2007 /95/ übernommen (Tab.: 3.3.4-4). Hier sind nur die Abfälle berücksichtigt, welche den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern überlassen wurden. Bioabfälle werden zunehmend privatwirtschaftlich gesammelt und verwertet. Für die Sammlung der Bioabfälle in Haushalten besitzen nur 2/3 der Landkreise eine Biotonne, da je nach Abfallsatzung nicht alle dem Anschluss- und Benutzerzwang unterliegen.

Organische Reststoffe aus Haushalten und Kommunen für 2007					
Substrate	Aufkommen	Gasausbeute	Potenzial		Energiegehalt
	t FM/a	Nm ³ Biogas/ a	%	Nm ³ Biogas/ a	6,0 kWh/m ³ Biogas bei 60% CH ₄ in MWh
Bioabfälle aus HH	124.213	9.937.040	90	8.943.336	53.660
Grünabfälle aus HH	93.255	5.841.493	70	4.089.045	24.534
Marktabfälle	1.053	67.129	50	33.564	201
Garten und Parkabfälle	7.917	495.921	30	148.776	893
Summe		16.341.583		13.214.722	79.288

Tab. 3.3.4-4: Organische Reststoffe aus Haushalten und Kommunen 2007

Der durchschnittliche Anteil von Bioabfall aus der Biotonne betrug 29 kg/(EW*a). Hierin sind aber nur die erfassten Mengen in den Landkreisen mit Biotonne bezogen auf die jeweilige Einwohnerzahl (EWZ) berücksichtigt. Bezogen auf die EWZ von Sachsen (4.234.014 EW) würde der gesamte Bioabfall 122.786.406 t/a betragen.

Der durchschnittliche Anteil von Grünabfällen aus den Kommunen betrug 22 kg/(EW*a). Hierin sind aber auch wieder nur die erfassten Mengen in den Landkreisen bezogen auf die jeweilige EWZ berücksichtigt wurden. Bezogen auf die EWZ von Sachsen würde der gesamte Grünabfall 93.255 t/a betragen.

Da im Bioabfall häufig Störstoffe vorhanden sind, wurde ein möglicher Nutzungsgrad von 90 % angenommen.

Nach /90/ setzt sich der Bioabfall aus einer Vielzahl unterschiedlicher Substrate zusammen, so dass die TS und oTS- Gehalte sowie der daraus resultierende Gasertrag im Einzelfall erheblich von diesen geschätzten Werten abweichen können.

Von den Bio- und Grünabfällen aus Haushalten wurden 98 % einer Kompostierung unterzogen und nur 2 % vergoren. Die Bioabfälle von öffentlichen Flächen/Kommunen wurden nicht in Biogasanlagen behandelt. Die Verwendung der anfallenden Gärreste bei der Vergärung von Bioabfällen ist z. B. durch die Bioabfallverordnung eingeschränkt und nur mit viel Aufwand möglich. Dies könnte z. B. auch ein Grund für den geringen Anteil der Bioabfälle an der Vergärung sein

- Klärschlämme

Das Klärschlammauftreten von 2005 wurde in Tab. 3.3.4-5 bewertet.

Klärschlämme für 2007					
Substrate	Aufkommen	Gasausbeute	Potenzial		Energiegehalt
	t TS/a	Nm ³ Biogas/ a	%	Nm ³ Biogas/ a	6,0 kWh/m ³ Biogas bei 60% CH ₄ in MWh
Klärschlämme (Rohschlamm)	97.626	39.538.530	90	35.584.677	213.508
Fettabscheider	3.410	689.843	70	482.890	2.897
Summe		40.228.373		36.067.567	216.405

Tab. 3.3.4-5: Klärschlämme 2007

Der Anschlussgrad der sächsischen Bevölkerung an öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen liegt bei etwa 83 %. Das entspricht ca. 3,6 Mio. Einwohnern (EW). Dazu kommen ca. 1,0 Mio. Einwohnergleichwerte (EGW), so dass die Kläranlagen mit rund 4,6 Mio. Einwohnerwerten (EW_{GW}) [EW = Einwohner + Einwohnergleichwert] ausgelastet werden.

Die angefallenen Klärschlämme werden nur zu einem geringen Anteil in Sachsen in Kläranlagen bzw. Biogasanlagen vergoren.

- Deponien

Deponiegas entsteht durch den anaeroben Abbau abgelagerter organischer Substanz. Schon sechs Monate nach Schließung einer Deponie bildet sich Deponiegas, welches bis zu 15 Jahre aufgefangen und genutzt werden kann. Die nutzbare Menge des gebildeten Deponiegases ist dabei abhängig von der Menge der abgelagerten organischen Fraktionen, der Zeitdauer sowie von den Milieubedingungen im Deponiekörper.

Aktuell stehen in Sachsen fünf Deponien für die Ablagerung von Siedlungsabfällen zur Verfügung. Davon entsprechen zwei Deponien den Anforderungen der Deponieklasse I und drei Deponien den strengeren Anforderungen der Deponieklasse II. Letztere sind für einen unbefristeten Betrieb über das Jahr 2009 hinaus zugelassen.

Seit 01.06. 2005 dürfen nach der TASI keine unbehandelten Abfälle mehr auf Deponien abgelagert werden. Der Abfall muss z. B. einer mechanisch-biologischen Behandlung unterzogen werden, so dass bei Ablagerung nur noch geringe Mengen an Deponiegas entstehen.

Aufgrund der Nutzungsdauer des Deponiegases von max. 15 Jahren, würde aus den bis 1995 abgelagerten Abfällen zum Zeitpunkt 2020 kein nutzbares Deponiegas mehr aufgefangen werden. Somit wurde das gebildete Deponiegas für die Einschätzung des Biogaspotenziales nicht mit betrachtet.

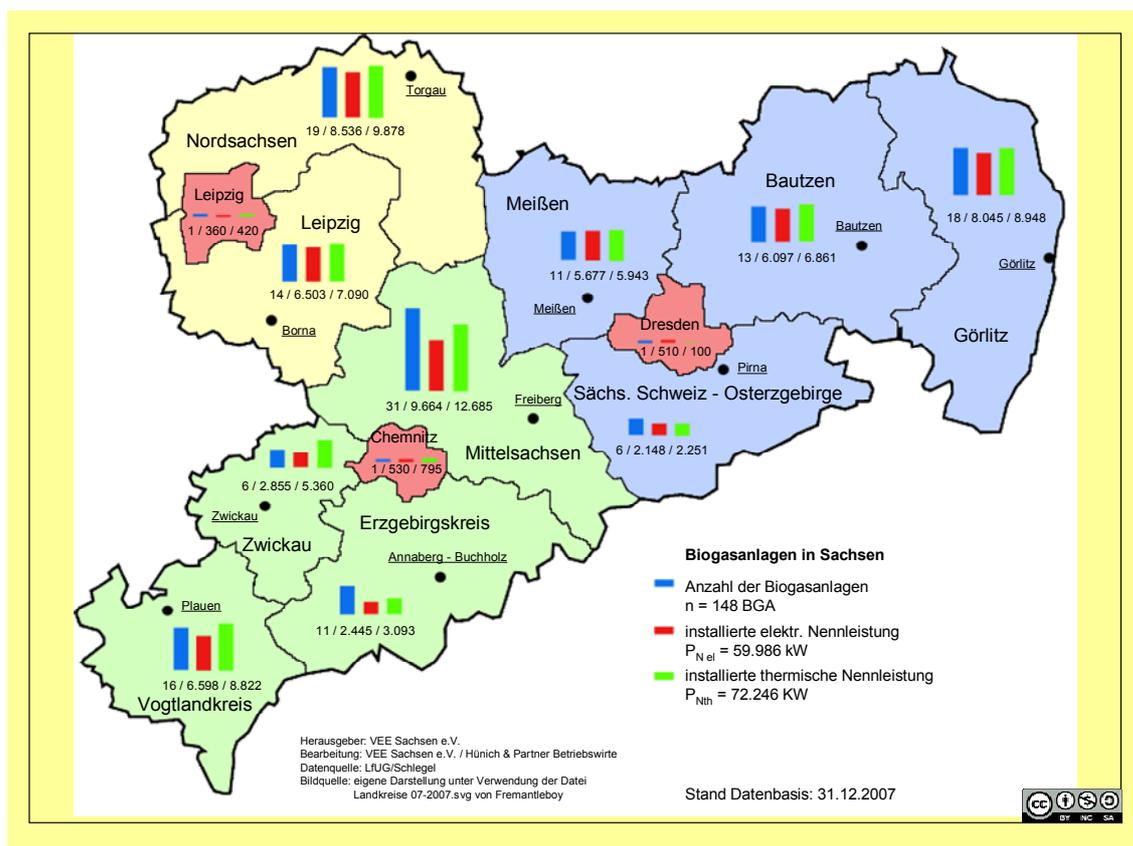
- Biogasanlagen (BGA)

Die alternative Landwirtschaft spielt bisher nach /93/ eine sehr untergeordnete Rolle, so dass ein Großteil der Biogasanlagen in Sachsen in Regionen mit einem hohen Tierbestand anzutreffen ist. Karte 3.3.4-1 zeigt den Stand der BGA in Sachsen zum 31.12.2007. Zu diesem Zeitpunkt wurden **148 BGA** mit folgenden Leistungen betrieben:

$$P_{\text{Nel}} = 59.986 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Nth}} = 72.246 \text{ kW}$$

Die durchschnittliche elektrische Leistung der BGA betrug rund **405 kW/BGA**, die durchschnittliche thermische Leistung betrug rund **488 kW/BGA**. [LfUG/Schlegel, 04/2008]. Mit diesen Durchschnittsleistungen nähern sich die BGA zunehmend der heute üblichen Standardgröße von mindestens **500 kW_{el}/th an**.



Karte 3.3.4-1: Verteilung der Biogasanlagen nach Landkreisen

In Abb. 3.3.4-2 wurde die Entwicklung der sächsischen BGA grafisch nach Anlagenanzahl und Leistungen für die letzten fünf Jahre dargestellt. In den Jahren 2006 und 2007 lässt sich ein starker Anstieg ersehen, der sich aber in 2008 nicht so fortsetzen konnte. Voraussichtlich werden bis Jahresende 2008 etwa 160 BGA in das Netz einspeisen und gleichzeitig Wärme liefern. Im Rahmen dieser Studie verblieb nicht die Zeit, den Anlagenbestand vollständig zu aktualisieren, da auch noch einige BGA im Bau sind.

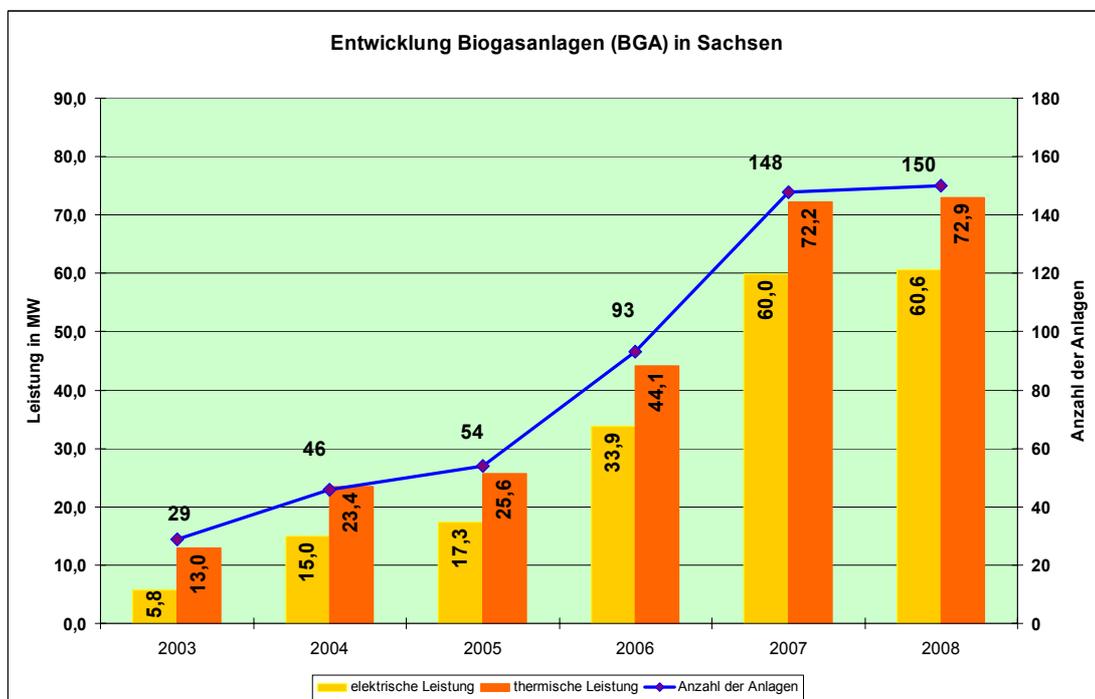


Abb. 3.3.4-2: Entwicklung der BGA in Sachsen bis 2007
Quelle: LfUG/Schlegel, April, 2008

Biogasanlagen geraten immer wieder, wie auch andere Anlagen, die erneuerbare Energieträger nutzen, in das Visier von Umwelt- und Naturschützern sowie Bürgerinitiativen, die gegen diese Anlagen mobil machen. Fast immer werden Geruchsbelästigungen, die BGA verursachen sollen, ins Feld geführt oder auf unvermeidbare Eingriffe in Natur und Landschaft verwiesen.

Unbestritten: In der Vergangenheit hat es immer mal wieder Havarien gegeben, bei denen Gülle aus Behältern ausgelaufen ist und die entstandenen Schäden nicht gerade gering waren. Es handelt sich aber ausschließlich um Einzelfälle, die auch in Zukunft nicht gänzlich ausgeschlossen werden können. Die üblichen Begründungen, weshalb BGA abzulehnen sind, halten keiner sachlichen Argumentation stand. Bekanntlich ist die in Landwirtschaftsbetrieben mit Tierproduktion entstehende „**Primärgülle**“ sehr geruchsintensiv. Nach Vergärung im Fermenter der BGA kommt eine fast geruchsneutrale „**Sekundärgülle**“ heraus, die problemlos als wertvoller Dünger auf die Felder verbracht werden kann.

Die nachfolgenden Abb. 3.3.4-3 und 3.3.4-4 sollten zum besseren Verständnis beitragen. Allein der optische Eindruck der fotografierten BGA lässt erkennen, dass hier ein ordnungsgemäßer Anlagenbetrieb gefahren wird. Die BGA Großenhain versorgt das anliegende Gewerbegebiet sowie ein Wohngebiet mit Wärme.



Abb. 3.3.4-3: BGA Großenhain (MEI) – 2 BHKW - $P_{\text{Net}} = 2 \times 716 \text{ kW}$, $P_{\text{Nth}} = 2 \times 700 \text{ kW}$
Quelle: Foto, Schlegel, 29.04.2007



Abb. 3.3.4-4: BGA Reinhardtsgrimma (PIR) – BHKW $P_{\text{Net}} = 500 \text{ kW}$, $P_{\text{Nth}} = 500 \text{ kW}$
Quelle: Foto, Schlegel, 04.09.2007

3.3.4.3 Potenzialabschätzung für 2020

Eine Voraussetzung für die umweltverträgliche und nachhaltige Nutzung der Energie aus Biogas ist die sachgemäße und gezielt begrenzte Ausnutzung der jeweiligen regionalen und lokalen Potenziale. Nach Nitsch sind bei der Biomassenutzung die Gefahren der Verletzung dieser Kriterien am größten. Die größten potenziellen Konfliktfelder sind hier die Konkurrenz zur Nahrungsmittelindustrie und zu einem erweiterten Naturschutz sowie mögliche Umweltgefährdungen durch intensive Nutzung von Brachflächen. Die potenzielle Nutzung der Biomasse sollte aus diesen Gründen ökologisch und strukturell begrenzt stattfinden /96/ sowie /98/; /103/.

Von diesen Grundlagen ausgehend wurden die folgenden Annahmen getroffen

- Wirtschaftsdünger

Der Bestand an Rindern in Sachsen ist seit 1991 rückläufig /99/. Für die Prognose für 2020 in Tab. 3.3.4-6 wurde der durchschnittliche Rückgang bei der Rinderanzahl der letzten zehn Jahre von **13.102** Tieren pro Jahr angesetzt. Die GV wurden auf das Verhältnis Rinderanzahl/GV von 2007 bezogen.

Wirtschaftsdünger für 2020					
Substrate	Aufkommen	Gasausbeute	Potenzial		Energiegehalt
	GV	Nm ³ Biogas / a	%	Nm ³ Biogas/ a	5,7 kWh/m ³ Biogas bei 57% CH ₄ in MWh
Rindergülle	264.068	138.266.222	70	96.786.355	551.682
Schweinegülle	78.570	37.619.316	82	30.847.839	175.833
Schafsmist	10.752	9.120.492	80	7.296.393	41.589
Pferdemist	12.693	10.822.052	10	1.082.205	6.169
Geflügelmist	29.480	39.678.823	85	33.727.000	192.244
Summe		235.506.905		169.739.793	967.517

Tab. 3.3.4-6: Wirtschaftsdünger 2020

Bei den Viehzahlen für Schweine, Schafe und Pferde wurde ein gleichbleibender Bestand angenommen, da die Bestände der letzten Jahre nur kleinen Schwankungen unterlagen /99/.

Für Hühner ist der Bestand in den letzten zehn Jahren um ca. **778.285** Tiere pro Jahr gestiegen. Hochgerechnet für 2020 auf die GV würde dieser Anstieg pro Jahr **29.480 GV** betragen, was einem Zuwachs von ca. 50 % innerhalb von 13 Jahren entspricht. Die prozentualen Anteile der Potenziale für die einzelnen Tierarten wurden von 2007 übernommen, da die Ausnutzung der Potenziale nach Einschätzung des Autors unter heutigen Gesichtspunkten nicht in großem Maße erhöht werden kann.

- Landwirtschaftliche Reststoffe und Energiepflanzen

Die Abschätzung für die Entwicklung der landwirtschaftlichen Reststoffe und Energiepflanzen wurde nach /28/ erarbeitet.

Aufgrund der rückläufigen Rinderzahlen, verminderten sich auch die Futterreststoffe von 62.612 t oTS/a auf 40.482 t oTS/ a. Die Berechnung erfolgte wie für 2007 nur mit den GV für 2020, dargestellt in Tab. 3.3.4-7.

LW Reststoffe und Energiepflanzen für 2020					
Substrate	Aufkommen	Gasausbeute	Potenzial		Energiegehalt
	ha	Nm ³ Biogas/ a	%	Nm ³ Biogas/ a	5,4 kWh/m ³ Biogas bei 54% CH ₄ in MWh
Futterreststoffe		18.216.760	70	12.751.732	68.859
Zuckerrübenblatt	15.384	36.551.688	40	14.620.675	78.952
Getreidestroh	363.731	684.072.529	33	225.743.935	1.219.017
Rapsstroh	139.898	161.912.091	40	64.764.836	349.730
Dauergrünland/ Grassilage	190.260	301.371.840	30	90.411.552	488.222
Maissilage	43.276	466.633.397	100	466.633.397	2.519.820
GPS	14.425	41.194.749	100	41.194.749	222.452
Summe		1.709.953.054		916.120.876	4.947.053

Tab. 3.3.4-7: Landwirtschaftliche Reststoffe und Energiepflanzen 2020

Bei den Ackerflächen wurde der nach /99/ ermittelte jährliche Rückgang von 864 ha angewendet. Die gesamte Ackerfläche beträgt damit im Jahr 2020 **710.141 ha** und somit 11.232 ha weniger als 2007. Ebenso wurde die jährliche Ertragssteigerung von 1,5 % sowie der Bevölkerungsrückgang einbezogen, so dass 2020 für den Nonfood-Sektor eine Fläche von ca. **288.507 ha** zur Verfügung steht. Es wurde angenommen, dass 98 % dieser Flächen für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung stehen. Die Flächennutzung wurde auf 45 % Raps, 30 % Getreide, 15 % Mais und 5 % GPS geschätzt.

Das Grünland wurde im Gegensatz zur Ackerfläche als gleichbleibende Fläche angenommen. Die Prozente der nutzbaren Potenziale wurden von 2007 übernommen.

- Reststoffe aus dem verarbeitenden Gewerbe

Die Biobfälle aus dem Gewerbe sowie die aus Behandlungsanlagen wurden als gleichbleibend angenommen, Tab. 3.3.4-8. Auch die Bierherstellung wurde hier als gleichbleibend angesetzt.

Reststoffe aus dem weiterverarbeitendem Gewerbe für 2020					
Substrate	Aufkommen	Gasausbeute	Potenzial		Energiegehalt
	t FM/a	Nm ³ Biogas/ a	%	Nm ³ Biogas/ a	5,4 kWh/m ³ Biogas bei 54% CH ₄ in MWh
Bioabfälle aus GW	8.229	658.320	90	592.488	3.199
Bioabfälle aus Behandlungsanlagen	2.188	175.040	70	122.528	662
Biertreber	169.517	19.007.094	50	9.503.547	51.319
Summe		19.840.454		10.218.563	55.180

Abb. 3.3.4-8: Reststoffe aus dem weiterverarbeitendem Gewerbe

- Organische Reststoffe aus Haushalten und Kommunen

Bei den geschätzten Aufkommen an Bio- und Grünabfällen aus den Haushalten in Tab.3.3.4-9 wurde der Bevölkerungsrückgang mit berücksichtigt. Dementsprechend sind diese leicht rückläufig.

Organische Reststoffe aus Haushalten und Kommunen für 2020					
Substrate	Aufkommen	Gasausbeute	Potenzial		Energiegehalt
	t FM/a	Nm ³ Biogas/ a	%	Nm ³ Biogas/ a	6,0 kWh/m ³ Biogas bei 60% CH ₄ in MWh
Bioabfälle aus HH	112.230	8.978.400	90	8.080.560	48.483
Grünabfälle aus HH	85.140	5.333.170	70	3.733.219	22.399
Marktabfälle	1.053	67.129	50	33.564	201
Garten und Parkabfälle	7.917	495.921	30	148.776	893
Summe		14.874.619		11.996.119	71.977

Tab. 3.3.4-9: Organische Reststoffe aus Haushalten und Kommunen

- Klärschlämme

Durch den zu erwartenden Rückgang der Bevölkerung 2020 auf 3,87 Mio /110/ wurden auch die Klärschlämme bei gleichbleibendem Anschlussgrad rückläufig eingeschätzt, wie aus Tab. 3.3.4-10 ersichtlich.

Klärschlämme für 2020					
Substrate	Aufkommen	Gasausbeute	Potenzial		Energiegehalt
	t TS/a	Nm ³ Biogas/ a	%	Nm ³ Biogas/ a	6,0 kWh/m ³ Biogas bei 60% CH ₄ in MWh
Klärschlämme (Rohschlamm)	75.727	30.669.370	90	27.602.433	165.614.599
Fettabscheider	2.000	404.600	70	283.220	1.699.320
Summe		31.073.970		27.885.653	167.313.919

Tab. 3.3.4-10: Klärschlämme

3.3.4.4 Potenzialvergleich

Die größten Potenziale für 2007 und 2020 liegen bei dem **gasförmigen Energieträger** im Bereich der landwirtschaftlichen Reststoffe sowie des Wirtschaftsdüngers (s. Abb. 3.3.4-5 und 3.3.4-6).

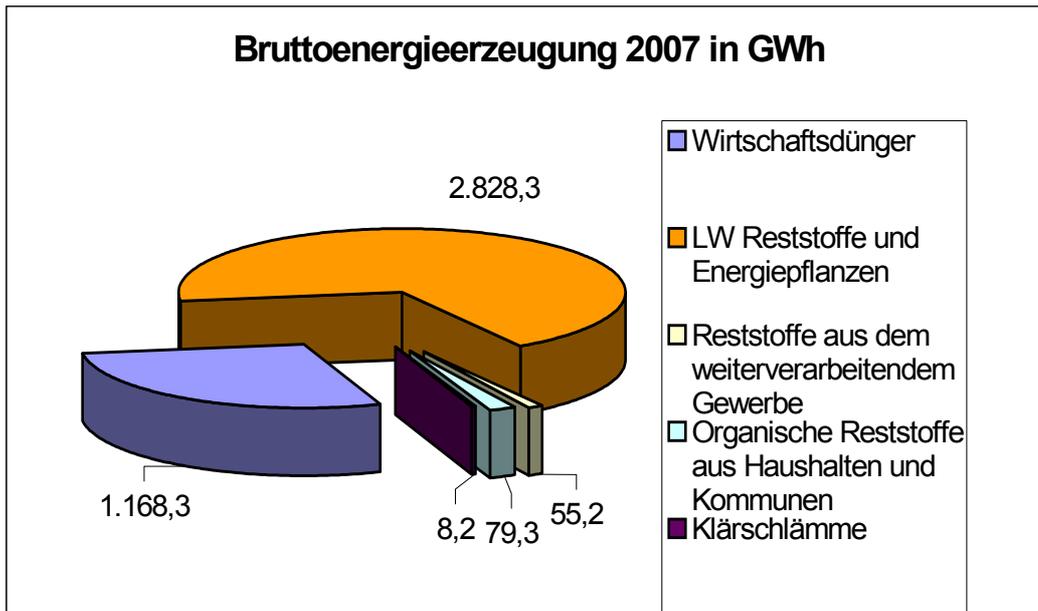


Abb. 3.3.4-5: Potenziale der Bruttoenergieerzeugung Biomasse 2007

Bei den landwirtschaftlichen Reststoffen ist zu beachten, dass das Potenzial der Strohmenge nur einmal genutzt werden kann. Da zu erwarten ist, dass für das Stroh die tatsächliche Nutzung eher durch Verbrennung bzw. Vergasung stattfindet, würde sich das technisch nutzbare Potenzial für die Biogasnutzung um diesen Betrag verringern.

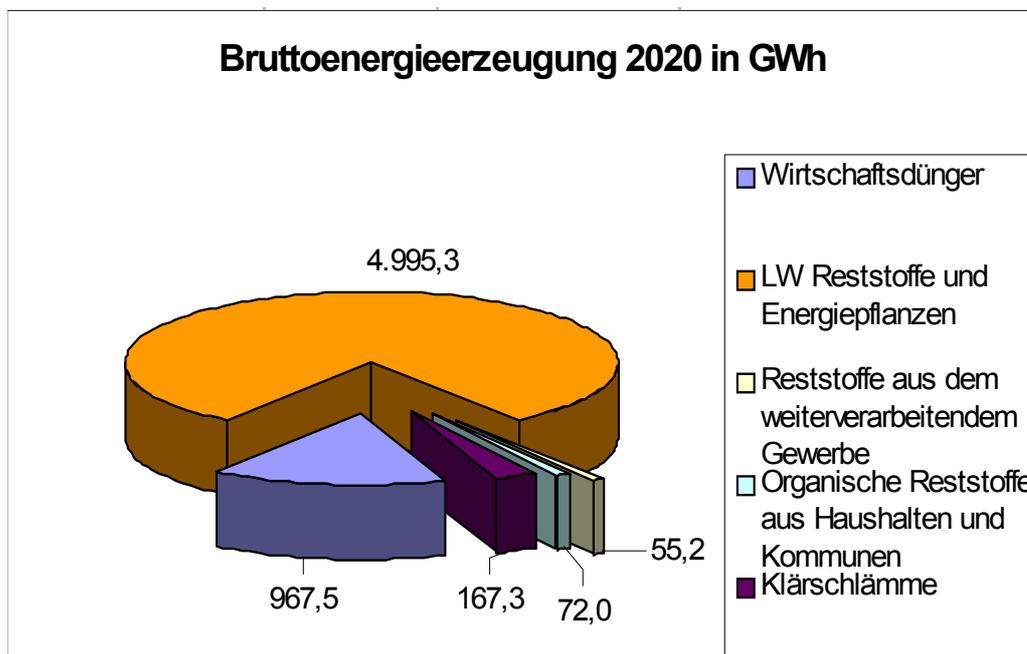


Abb. 3.3.4-6: Potenziale der Bruttoenergieerzeugung Biomasse 2020

Der Anteil des technisch nutzbaren Potenzials für die Reststoffe aus dem weiterverarbeitenden Gewerbe steht mit 55,2 GWh an vierter Stelle. Der Bierreber besitzt hier den größten Anteil daran. Bierreber steht nur als Substratbeispiel für das weiterverarbeitende Gewerbe. Bei einer Erschließung der gewerblichen Bioabfälle bestimmter Wirtschaftszweige (Bier-, Wein- und Saffherstellung) für die Vergärung, könnte dieses

Potenzial einen noch größeren Anteil am Gesamtpotenzial der Substrate der gasförmigen Energieträger ausmachen.

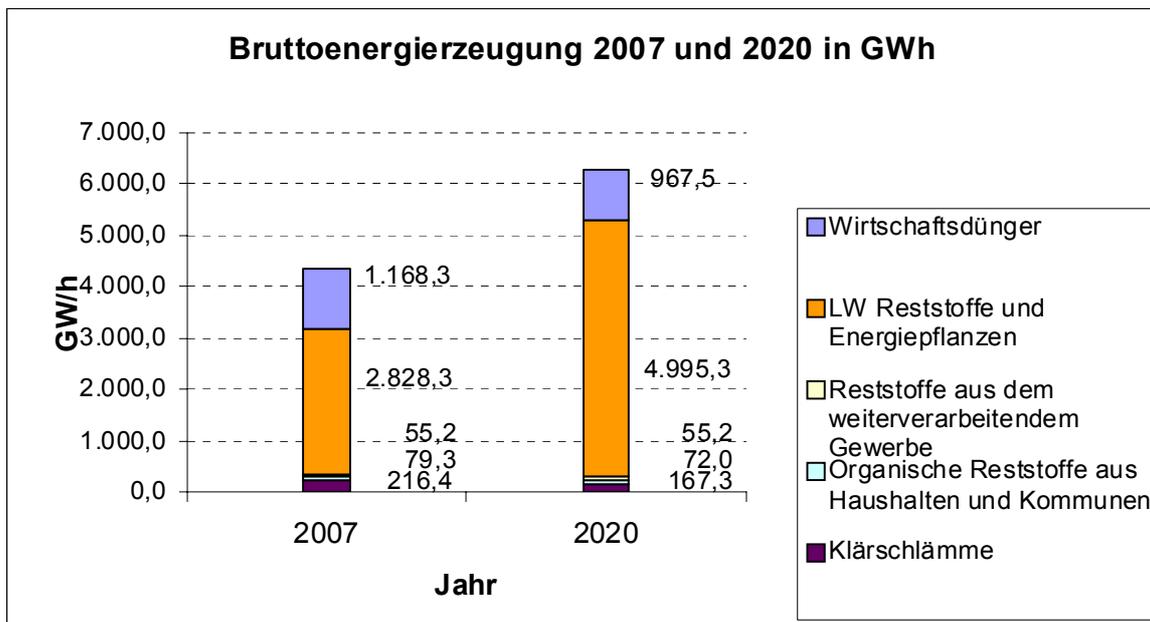


Abb. 3.3.4-7: Potenzial der Bruttoenergieerzeugung für 2007 und 2020 im Vergleich

Für die weitere Verwertung des Biogases zu Strom und Wärme wird hier nur die mögliche Verbrennung im BHKW berücksichtigt. Für die Potenzialabschätzung 2007 ist die Biogaseinspeisung nicht relevant, da sie sich noch in der Entwicklung befindet und erst in jüngster Zeit in Deutschland Anlagen zur Einspeisung gebaut wurden.

Unter der Annahme, dass 90 % der bereitgestellten Bruttoenergie im BHKW mit einem 40 %-igen Wirkungsgrad verbrannt wird, erhält man eine potenzielle elektrische Leistung für 2007 von 1.565,1 GWh (s. Tab. 3.3.4-11:). Bei der Potenzialabschätzung der elektrischen Leistung für 2020 wurde ebenfalls eine 90 %-ige Verbrennung angenommen. Der Wirkungsgrad wurde allerdings aufgrund der bis dahin verbesserten Technik mit 45 % angesetzt.

Substrate	elektrische Nettoenergieerzeugung in GWh			
	2007	%	2020	%
Wirtschaftsdünger	420,6	26,9	391,8	15,5
LW Reststoffe und Energiepflanzen	1.018,2	65,1	2.023,1	79,8
Reststoffe aus dem weiterverarbeitendem Gewerbe	19,9	1,3	22,3	0,9
Organische Reststoffe aus Haushalten und Kommunen	28,5	1,8	29,2	1,2
Klärschlämme	77,9	5,0	67,8	2,7
Summe	1.565,1	100,0	2.534,2	100,0

Tab. 3.3.4-11: Nettoenergieerzeugung für 2007 und 2020

3.3.4.5 Ergebnisbewertung und Zusammenfassung

Die Abb. 3.3.4-6 und 3.3.4-7 zeigen auf, dass sich die Bruttoenergieerzeugung durch Biomasse in Sachsen bis zum Jahr 2020 positiv entwickeln wird. Jedoch darf dabei nicht übersehen werden, dass diese Steigerung nur durch den wachsenden Potenzialanteil der landwirtschaftlichen Reststoffe und Energiepflanzen an der Energieerzeugung erreicht wird. In diesem Bereich kann eine **Potenzialsteigerung** von ca. **40 %** erzielt werden.

In Tab. 3.3.4-12 sind die Ergebnisse der Potenzialabschätzung zusammen gefasst:

BGA 2007	
- BGA-Anzahl [n]	148
- Leistung [P_{Net}]	60 MW
- Volllaststunden [t_a]	7.500 h/a
- Stromertrag [E_a]	450 GWh/a
BGA 2020	
- Strompotenzial [E_a]	2.534 GWh/a
- Volllaststunden [t_a]	7.500 h/a
- Leistung [$P_{\text{ges el}}$]	338 MW
- BGA-Anzahl [$P_{\text{el}} = 500 \text{ kW}$]	676
- BGA-Anzahl [$P_{\text{el}} = 750 \text{ kW}$]	450
Äquivalentversorgung Haushalte (HH)	1.030.000 HH
	46,6 %
Anteil am Stromverbrauch 2020	
2007: $E_{\text{Verb}} \approx 21.000 \text{ GWh/a}$ (geschätzt)	12 %
CO₂-Reduzierung	2.336.000 t/a
$f_{\text{CO}_2} = 0,922 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}_{\text{el}}$ /14/	

Tab. 3.3.4-12: Ergebnisdarstellung Biogasnutzung 2020

Die Interpretation der Tab. 3.3.4-12 ist relativ einfach. Die heutige Biogasverstromung von rund 450 GWh/a kann bis 2020 auf rund **2.534 GWh/a** gesteigert werden. Bei einer BGA-Leistung von 500 kW_{el} wären dafür **676** BGA, und bei einer BGA-Leistung von 750 kW_{el} wären **450** BGA in Sachsen notwendig. Die vermiedenen CO₂-Emissionen würden etwa **2.336.000 t/a** betragen. Im Durchschnitt kamen 2006 auf einen sächsischen Haushalt 1,93 Einwohner; d. h.: Mit Biogasstrom könnte die Äquivalentversorgung von fast zwei Millionen Menschen gesichert werden!

Alle anderen Potenzialanteile (Wirtschaftsdünger, Reststoffe aus weiterverarbeitendem Gewerbe, organische Reststoffe aus Haushalt und Kommunen sowie Klärschlämme) sind rückläufig; bei Klärschlämmen sogar bis zu fast 24 %.

Reserven und Handlungsbedarf wird vor allem bei den Potenzialen wie Reststoffe aus weiterverarbeitendem Gewerbe, organische Reststoffe aus Haushalt und Kommunen sowie Klärschlämmen gesehen.

Der Potenzialrückgang 2020 gegenüber 2007 in Sachsen beträgt bei der Rubrik

- | | |
|---|----------|
| ▪ Reststoffe aus dem weiterverarbeitenden Gewerbe | etwa 11% |
| ▪ Organische Reststoffe aus Haushalt und Kommunen | etwa 9% |
| ▪ Klärschlämme | etwa 24% |

Um nicht eine einseitige Orientierung bei der Energieerzeugung aus Biomasse auf die landwirtschaftlichen Rohstoffe und Energiepflanzen zu schaffen, andererseits jedoch aus natürlichem Rückgang bzw. privatwirtschaftlicher Eigenverwertung keine nennenswerten Zugänge erwartet werden, sind durch die politisch verantwortlichen Gremien Bedingungen zu schaffen, die eine breitere Streuung bei der Auswahl an verfügbaren Potenzialen von Biomasserohstoffen gewährleisten.

Im Einzelnen wäre z.B. denkbar, dass die Bioabfälle aus dem weiterverarbeitenden Gewerbe, welche derzeit fast zu 100 % kompostiert werden, genau wie die organischen Abfälle der Schlachtereien und Fleischereien in Biogasanlagen der Vergärung zugeführt werden, was zum jetzigen Zeitpunkt nur (und auch das nur zu 50 %) mit dem aus den Brauereien anfallenden Bierschrot erfolgt. Alle anderen Abfälle bieten eine wesentliche Potenzialsteigerung für die kommenden Jahre.

Bei der Verwertung der organischen Reststoffe aus Haushalt und Kommunen sowie den Klärschlämmen sind annähernd ähnliche Verhältnisse anzutreffen: So kann der Anteil der Vergärung hier noch erhöht werden.

In allen o.g. Beispielen liegen deutliche Reserven für eine breitere Streuung der Biomassepotenziale, welche durch politisch-ökonomische Rahmenbedingungen realisiert werden können, um einen Anreiz für die Vergärung von Biomasse in Sachsen zu schaffen.

3.4 Wasserkraftnutzung

3.4.1 Kurzer historischer Abriss der Wasserkraftnutzung

Die historische Entwicklung der Wasserkraft in Ostdeutschland ist in Abb. 3.4-1 dargestellt. Für Sachsen ist eine analoge Entwicklung anzunehmen.

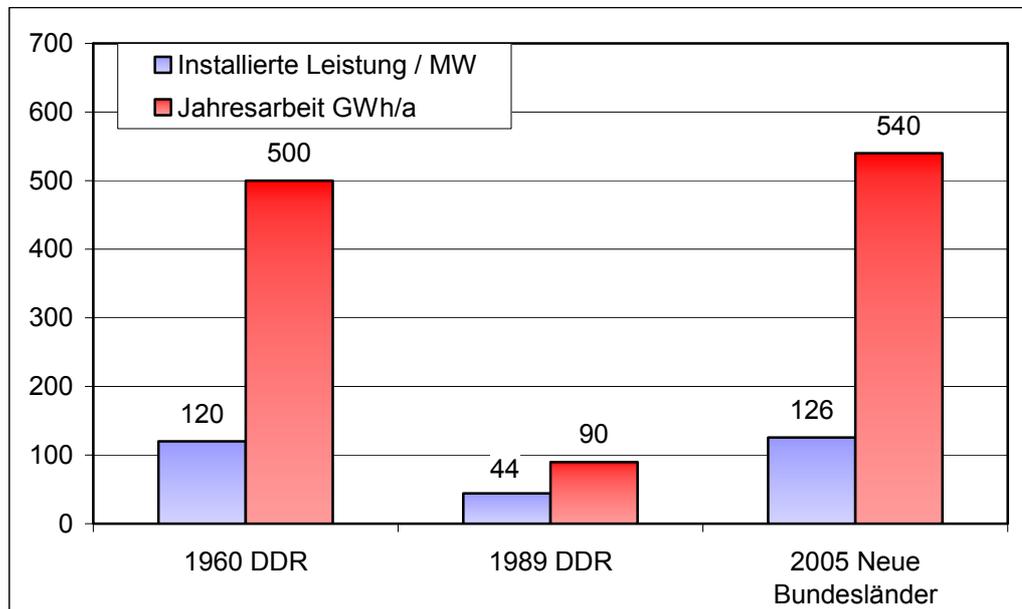


Abb. 3.4-1: Entwicklung der Wasserkraftnutzung in Ostdeutschland /29/

Die Nutzung der Wasserkraft geht auch in Sachsen weit in die Geschichte zurück. Älteste Hinweise sind die von 1170 auf die Wassermühle an der Mulde in Grimma und von 1288 auf die Schlossmühle von Rochlitz. Mit dem 13. Jahrhundert setzt eine Entwicklung der Wasserkräfte an allen dafür geeigneten Stellen ein. Sie sind der Motor einer wirtschaftlichen Entwicklung des Landes und finden im Laufe der Zeit Verwendung für Getreidemühlen, Loh- und Walkmühlen, Sägemühlen, Poch- und Hammerwerke, als Antrieb für die Wasserkunst im Bergbau, als Pulvermühlen und Papiermühlen und Antriebe für mechanische Werkstätten. Der Höhepunkt war schließlich 1930 mit insgesamt **3.513** WKA und einer installierten Gesamtleistung von **130 MW** /30/ erreicht.

Mit dem Rückgang der Wasserkraftnutzung nach 1960 gingen Verfall und Abriss vieler WKA einher. Das bedeutete Stilllegung der Turbinen und der Ersatz der Antriebe durch Elektromotoren sowie Zerstörung der wasserbaulichen Anlagen. Nach 1990 wurden vor allem in den Bundesländern Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt Förderprogramme, vorrangig zunächst zur Reaktivierung der stillgelegten Alt-WKA (bis 1996), später fast ausschließlich zur Verbesserung des ökologischen Zustandes aufgelegt. Im Freistaat Sachsen wurden so insgesamt mehr als 9 Mio. Euro verwendet.

Tab. 3.4-1 enthält die Auflistung der im Freistaat Sachsen ausgereichten Fördermittel zur Wiederherstellung der Wasserkraftanlagen.

Fördermittel Sachsen	Fördermittel in Euro	Fördermittel in Euro
- für Rekonstruktion - für Verbesserung des ökologischen Zustandes	7.377.600 1.317.500	
Summe Sachsen		8.695.100
Fördermittel Bund	426.300	
Fördermittel EU	15.000	
Fördermittel gesamt		9.136.400

Tab. 3.4-1: Fördermittel für Wasserkraftanlagen in Sachsen /34/

3.4.2 Sächsische Flussgebiete und Niederschlag

Zur Beschreibung der Gewässer in Sachsen ist die Zusammenfassung in drei Flussgebiete üblich, in denen auch über Nutzung der Gewässer und Umsetzung der Wasser-rahmenrichtlinie diskutiert wird (vgl. Karte 3.4-1).

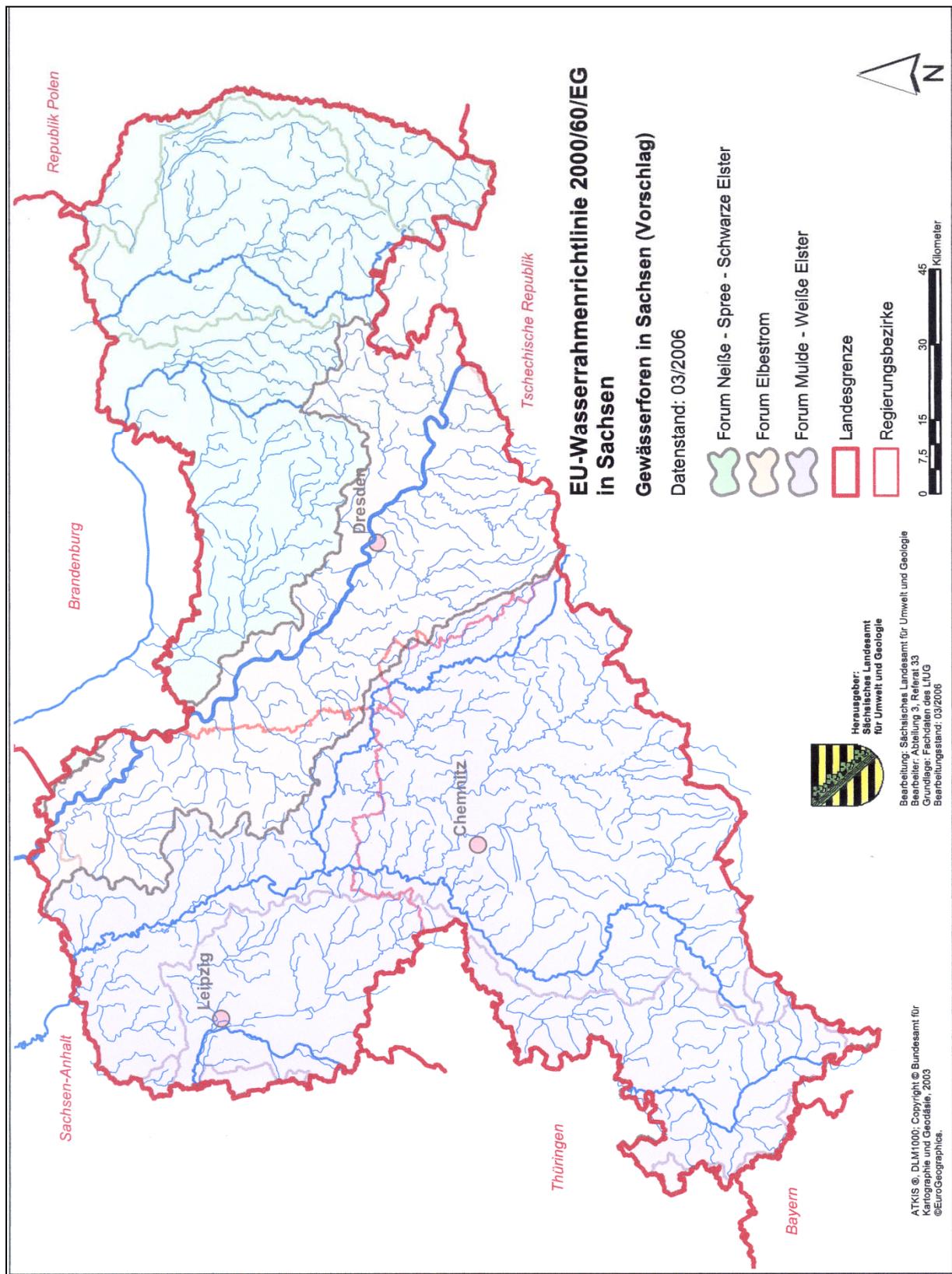
- | | | |
|--|-----------------|----------------------|
| (1) Neiße/Spree/Schwarze Elster
mit den Einzugsgebieten | Lausitzer Neiße | 644 km ² |
| | Spree | 1907 km ² |
| | Schwarze Elster | 2031 km ² |
| (2) Elbe-Gebiet (ohne Elbe-Fluß) | | 3601 km ² |
| (3) Mulde / Weiße Elster
Mit den Einzugsgebieten | Mulde | 6076 km ² |
| | Weiße Elster | 2664 km ² |

Für diese Flussgebiete werden die angegebenen Fließgewässer und deren Nutzung durch Wasserkraftanlagen und ein Potenzial für den weiteren Ausbau der Wasserkraftnutzung betrachtet.

Unter dem Gesichtspunkt einer möglichen Wasserkraftnutzung kann für den Fluss Elbe ein Wasserkraftpotenzial berechnet werden. Dieses wäre mit etwa **800 GWh/a** doppelt so groß, wie das aller anderen Flussgebiete zusammen. Eine Nutzung würde bedeuten, dass die Elbe auf dem Gebiet von Sachsen durchgängig mit Staustufen und Wasserkraftanlagen bestückt werden müsste. Dieses Szenario wird zum gegenwärtigen Zeitpunkt als nicht realistisch eingeschätzt und hier nicht weiter betrachtet /30/.

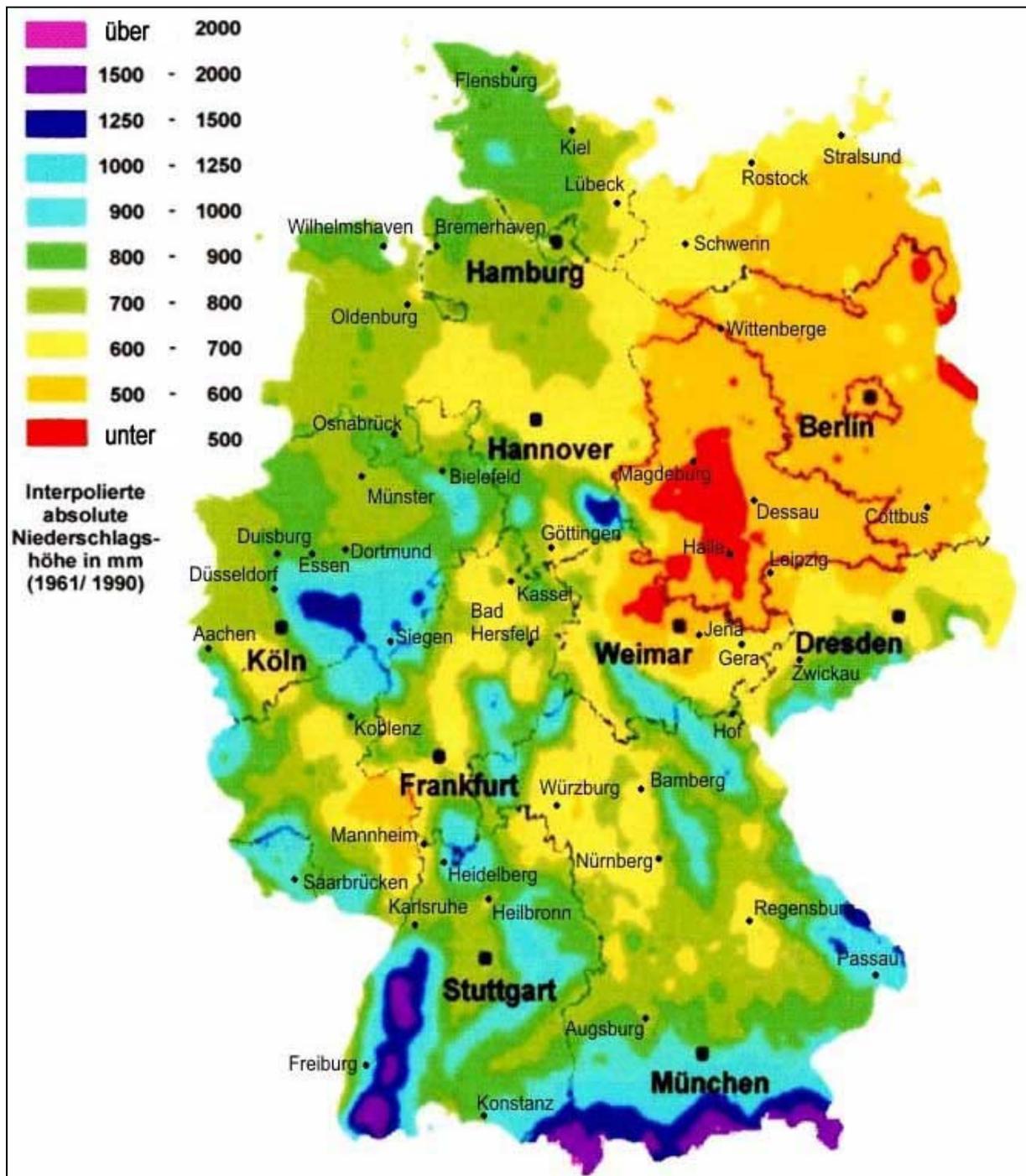
Ebenso werden Pumpspeicherwerke an dieser Stelle nicht zum Potenzial der Wasserkraftnutzung dazu gerechnet. Sie dienen der Speicherung von Energie, um in Zeiten hohen Strombedarfs Spitzenlasten abzudecken. Stromüberangebote selbst werden zur Auffüllung der höher gelegenen Speicherbecken verwendet. Für Potenzialberechnungen der Laufwasserkraft spielen diese Energiespeicher keine Rolle und werden auch in die weiteren Betrachtungen nicht einbezogen.

- Pumpspeicherwerk (PSW) Niederwartha (DD) $P_{el} = 120 \text{ MW}$ (gegenwärtig 80 MW)
- Pumpspeicherwerk (PSW) Markersbach (ERZ) $P_{el} = 1.050 \text{ MW}$



Karte 3.4-1: Sächsische Flussgebiete

Zum besseren Verständnis und Vergleich sind in Karte 3.4-2 die absoluten Niederschläge in Deutschland für den Zeitraum 1961 bis 1990 dargestellt.



Karte 3.4-2: Niederschlagshöhen in Deutschland 1961 bis 1990
 Quelle: www.orchideen-kartierung.de/GERMANY/Geologie.html

Die höchsten Niederschlagswerte in Deutschland sind erwartungsgemäß in Süddeutschland zu verzeichnen (bis zu 2.000 mm in den Alpen und im Schwarzwald). Die niedrigsten Werte (unter 500 mm) treten dagegen im Windschatten von Harz (Sachsen-Anhalt) und Thüringer Wald auf.

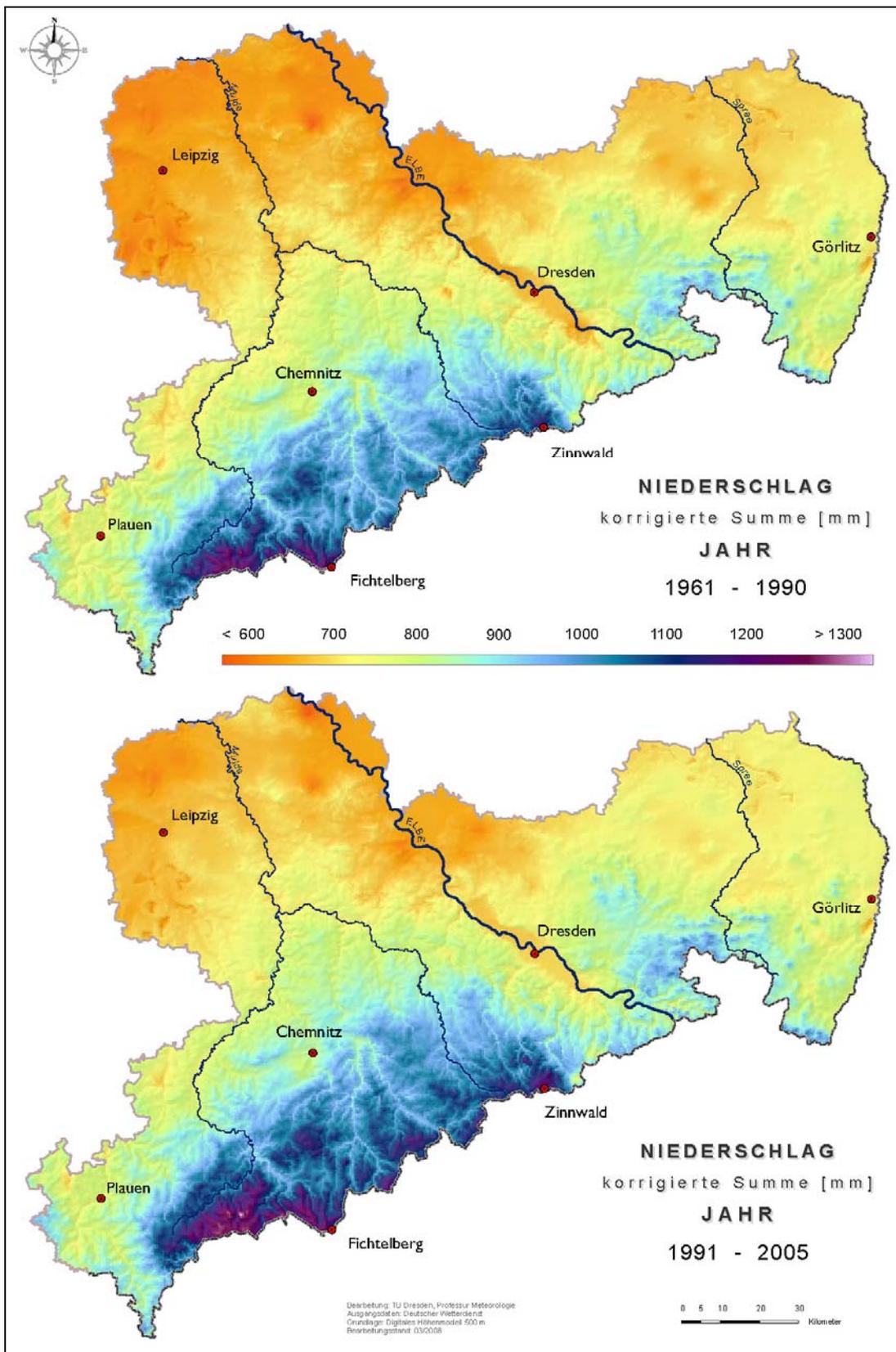
Für Sachsen liegen die Werte bei (900 bis 200) mm für das Einzugsgebiet der Mulde / Weiße Elster und bei (700 bis 900) mm für die Einzugsgebiete Elbe-Gebiet und Neiße / Spree / Schwarze Elster (Karten 3.4-3 und 3.4-4).

Diese Niederschlagswerte wirken sich direkt auf die Wasserkraftnutzung aus. Während im Gebiet Mulde / Weiße Elster die Mehrzahl der Wasserkraftanlagen und diese auch durchweg mit höherer installierter Leistung anzutreffen sind, spielen die Flussgebiete Elbe-Gebiet und Neiße / Spree / Schwarze Elster eine deutlich bescheidenere Rolle. Auch sind hier in der Regel kleinere WKA mit geringeren installierten Leistungen anzutreffen. Besonders davon betroffen ist das Einzugsgebiet der Schwarzen Elster. Dort sind fast ausschließlich WKA mit sehr kleinen installierten Leistungen und entsprechend niedriger Jahresarbeit zu verzeichnen.

Einen Sonderfall bildet die Neiße mit ihrem Quell- und Einzugsgebiet im Isergebirge. Niederschläge von (1.000 bis 1.200) mm ermöglichen eine relativ stabile Wasserführung und sichern den Betrieb zahlreicher WKA mit installierten Nennleistungen von $P = (100 \text{ bis } 900) \text{ kW}$ /**32**/.

Beim Vergleich der Niederschlagsmengen über größere Zeitabschnitte ist eine leichte Zunahme um etwa 5 % im Zeitabschnitt von 1991 bis 2005 gegenüber 1961 bis 1990 festzustellen /1/, wobei das Jahr 2002 mit ungewöhnlich hohen Niederschlägen eingeht.

Für die Nutzung der Wasserkraft wird aus den Jahresniederschlagsmengen kein entscheidender Einfluss für die nähere Zukunft erwartet. Erhöhte Jahresniederschläge werden teilweise wieder durch deren ungleichmäßige Verteilung über das Jahr ausgeglichen. Damit wird auch für die kommenden Jahre das mittlere Jahresarbeitsvermögen im Bereich der prognostizierten Werte bleiben.



Karte 3.4-3: Niederschlagsmengen und Verteilung in Sachsen 1961 bis 1990
 Karte 3.4-4: Niederschlagsmengen und Verteilung in Sachsen 1990 bis 2005
 Quelle: TU Dresden, 2008 /1/

3.4.3 Anteil des Wasserkraftstromes am Stromverbrauch

Gewicht und Anteil von Wasserkraftstrom aus Erneuerbaren Energien geht aus Abb. 3.1-2, S.11 hervor. So wurden 2007 insgesamt aus allen erneuerbaren Energieträgern etwa 2.708 GWh Strom eingespeist. Das entspricht einem Anteil von 12,9 % am sächsischen Verbrauch von 21.000 GWh. Die Wasserkraft steuerte rund 318 GWh bei, was einem Anteil von 1,5 % entspricht. Bezogen auf den Anteil an EE, entspricht dieser 11,7 %.

Die sächsische Wasserkraftnutzung kann gemessen an den o. g. Zahlen nicht mit den Wasserkraften der südlichen Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg mithalten. Der sächsische Wert liegt im Beitrag am Energiemix der erneuerbaren Energieträger und in der nahezu völligen Vermeidung von THG-Emissionen.

3.4.4 Wasserkraftanlagen (WKA) und Abschätzung des Wasserkraftpotenzials

3.4.4.1 Potenzialabschätzung nach der Literatur

Aus den in /31/ veröffentlichten Daten wurde folgende Abschätzung für das zusätzlich zu den bestehenden Anlagen noch nutzbare Potenzial für die Wasserkraft in Sachsen abgeleitet: An zusätzlich 288 Wehren in Sachsen (vorhandene Wehrstandorte mit einem als wirtschaftlich anzusehenden Potenzial) können kleine WKA mit durchschnittlicher Nennleistung von **P = 70 kW** installiert werden. Daraus ergibt sich eine installierte Gesamtleistung von etwa **20 MW**. Für die Laufzeit kann die Annahme einer Volllaststundengröße von **t_a ≈ 3.500 h/a** getroffen werden, so dass die Anlagen eine zusätzliche Stromerzeugung von etwa **70 GWh/a** liefern könnten. Beim derzeitigen sächsischen Stromverbrauch eines Haushaltes von **2.460 kWh/a** könnten so etwa zusätzlich 28.450 Haushalte mit Elektroenergie versorgt werden.

Trifft die Unterstellung zu, dass sich Investoren nur für 200 der ausgewiesenen WKA-Standorte interessieren, würden mit einer installierten Leistung von 14 MW etwa **50 GWh/a** erzeugt und damit die Äquivalentversorgung von etwa 20.300 Haushalten sichern. Das entspricht in etwa einer Stadt mit rund **39.000** Einwohnern! In Pkt. 3.4.3 wurde der Anteil des Wasserkraftstromes mit dem Prädikat „gering“ eingeschätzt. Diese Einschätzung relativiert sich an der Bezugsgröße „**Stromversorgung von Haushalten**“ in erheblichem Maße.

3.4.4.2 Datenmaterial und untersuchte Größen

In den Grenzen der oben beschriebenen Flussgebiete und in der Summe werden für die weitere Betrachtung des Wasserkraftpotenzials in Sachsen die folgenden Größen betrachtet:

- WKA in Betrieb /35/,
- EEG Einspeisung aus WKA /36/
(dabei sind Eigenverbrauch, sonstiger Verkauf und andere Nutzung nicht berücksichtigt),
- Potenzial Zubau alle Anlagen,
- Potenzial Zubau Anlagen $P \geq 40$ kW,
- Potenzial Zubau Anlagen $P \geq 100$ kW,

Das Potenzial Zubau wird auf Basis der Wehrdatenbank Sachsen /37/ abgeschätzt. Dabei werden erwähnte Standorte mit den Charakteristika

**„zur Nutzung vorgesehen“ ,
„zurzeit keine Nutzung“**

und andere Hinweise, wie der Eintrag **„Ausleitungskraftwerk“** sowie technische Hinweise auf die Nutzung der Wasserkraft an den betrachteten Standorten berücksichtigt. Leistungen wurden nach benachbarten WKA, Wehrhöhen und Wassermengen MQ und MNQ abgeschätzt.

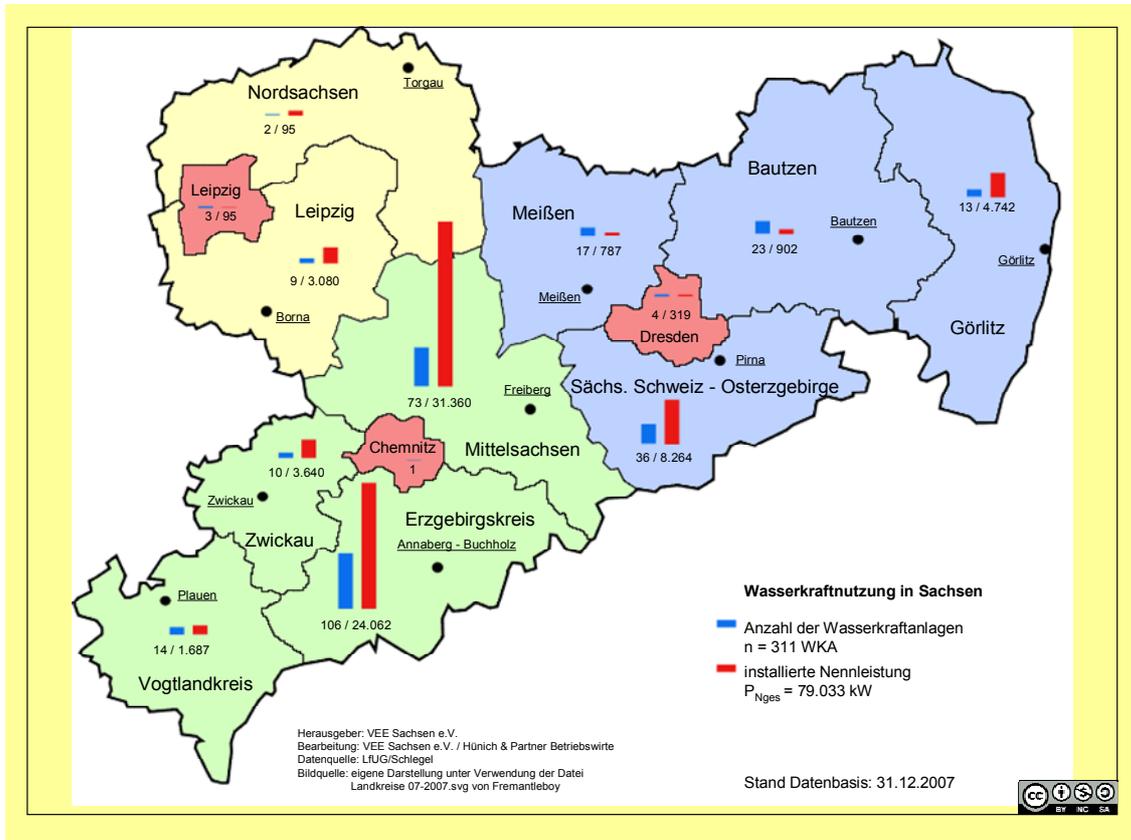
Alle Standorte, die in der Wehrdatenbank mit den Charakteristika **„Wehr zerstört“**, **„Wehr aufgelassen“** oder **„Wasserkraftanlage nicht vorhanden“** genannt sind, werden nicht als Rekonstruktionsstandort betrachtet und damit für die Berechnung des Potenzials nicht herangezogen. Dabei ist noch zu bemerken, dass die Wehrdatenbank einen Bearbeitungsstand bis etwa zum Jahr 2002 aufweist. Aufgrund des Hochwassers 2002, der Beseitigung der Flutschäden und anderer Rückbaumaßnahmen wurde ein Teil der Wehre für potenzielle Ausbaustandorte beseitigt. Auch sorgen ständige Angriffe von Naturschutz- und Fischereiverbänden einschließlich überzogener Forderungen der Genehmigungsbehörden nicht für ein freundliches Klima für Investoren. Deshalb sind alle potenziellen Rekonstruktionsstandorte auf die Machbarkeit eines Ausbaus für den konkreten Standort zu überprüfen.

Die Berechnung der mittleren Jahresarbeit aus der installierten Leistung, der in Betrieb befindlichen WKA, erfolgt mit den mittleren Volllaststunden für die betrachteten Flussgebiete. Wegen der nach Osten hin und im Gebirgsvorland geringeren Niederschläge (vgl. auch Karten 3.4-3 und 3.4-4) wird die folgende Differenzierung vorgenommen:

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| - Mulde / Weiße Elster | 4.000 h/a (Volllaststunden) |
| - Elbe Gebiet | 3.500 h/a (Volllaststunden) |
| - Neiße / Spree / Schwarze Elster | 3.500 h/a (Volllaststunden) |

3.4.4.3 Potenzial – alle Flussgebiete

Karte 3.4-5 gibt unter Berücksichtigung der Kreisreform vom 01.08.2008 Aufschluss über die Verteilung der sächsischen WKA nach Landkreisen. Die Mehrzahl der WKA befindet sich in den Mittelgebirgsregionen bis in deren vorgelagerte Bereiche.



Karte 3.4-5: Verteilung der Wasserkraftanlagen nach Landkreisen

Die Daten zur Wasserkraftnutzung in Sachsen sind in den folgenden Abb. 3.4-2 bis 3.4-4 sowie in Tab. 3.4-2 dargestellt.

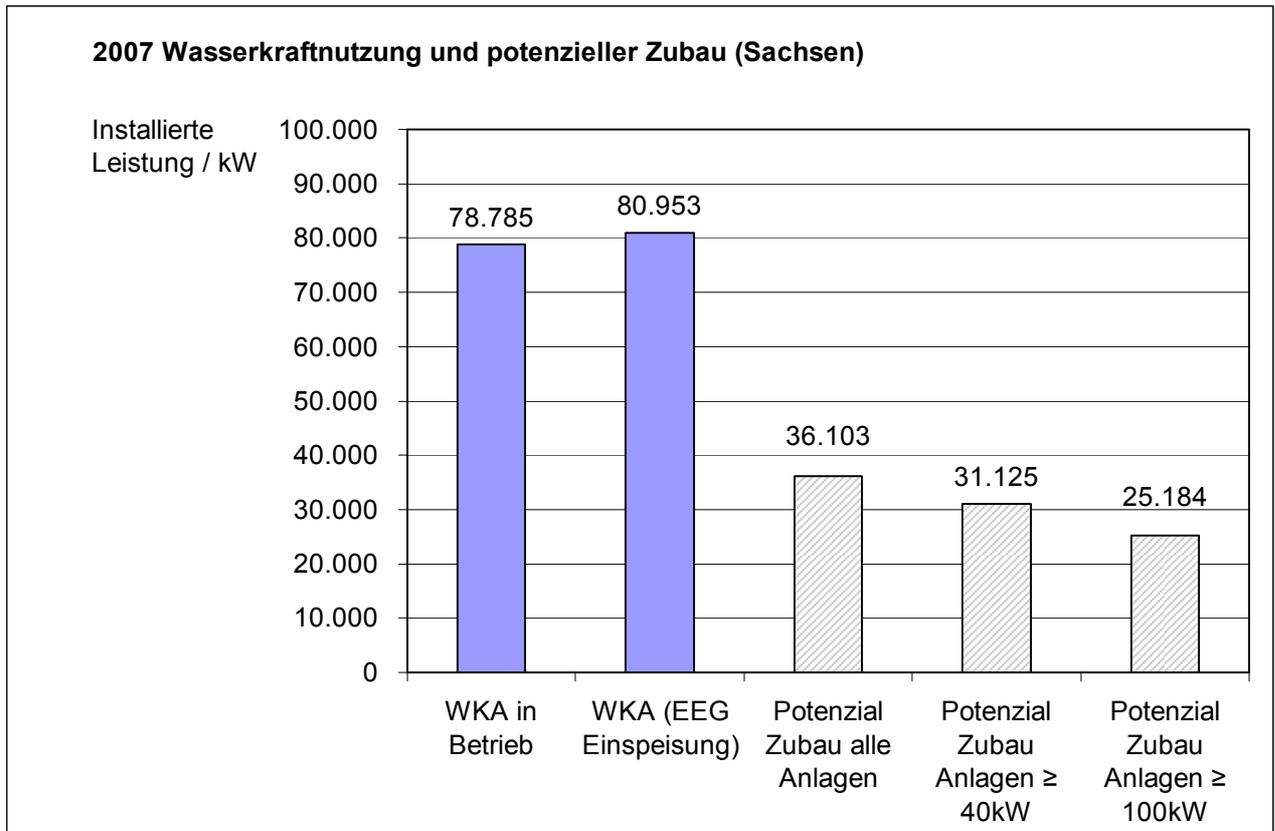


Abb. 3.4-2: Sachsen - Installierte Leistung und potenzieller Zubau

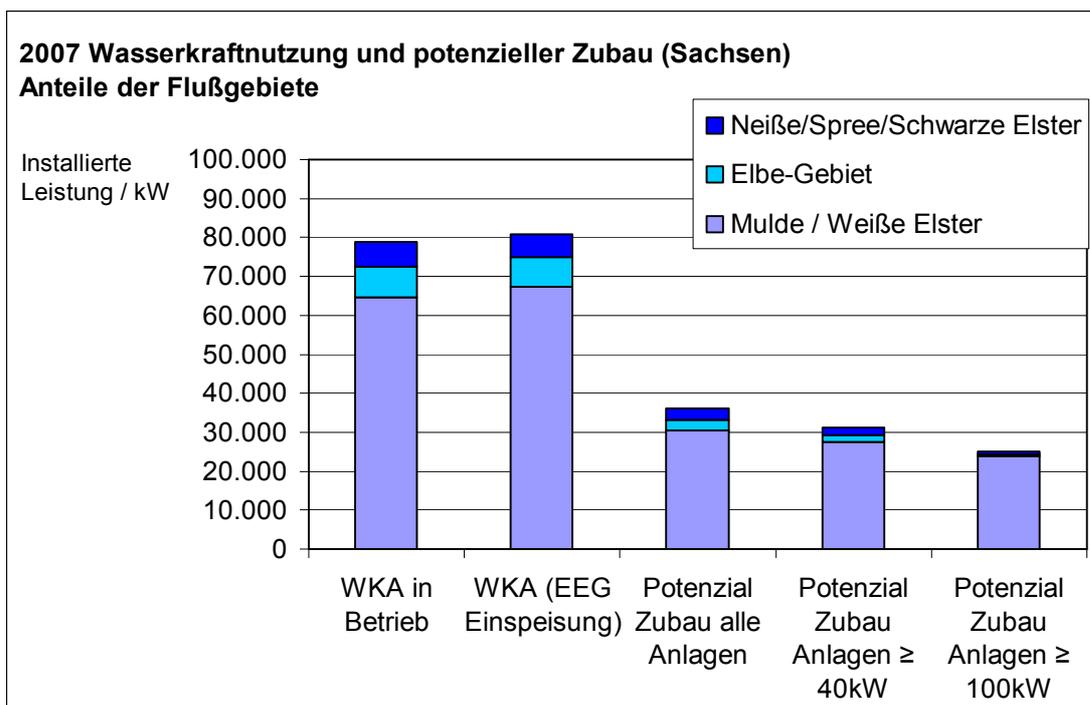


Abb. 3.4-3: Sachsen - Installierte Leistung und potenzieller Zubau - Anteile der Flussgebiete

	WKA- Anzahl [n]	Leistung [kW]	Leistung/ WKA [kW]	Energie [GWh]
WKA in Betrieb	302	78.785	261	308
WKA (EEG Einspeisung)	274	80.953	295	318
Potenzial Zubau alle Anlagen	456	36.103	79	142
Potenzial Zubau Anlagen P ≥ 40 kW	206	31.125	151	123
Potenzial Zubau Anlagen P ≥ 100 kW	92	25.184	274	100

Tab. 3.4-2: Sachsen - Wasserkraftanlagen - Anzahl, Leistung, Jahresarbeit

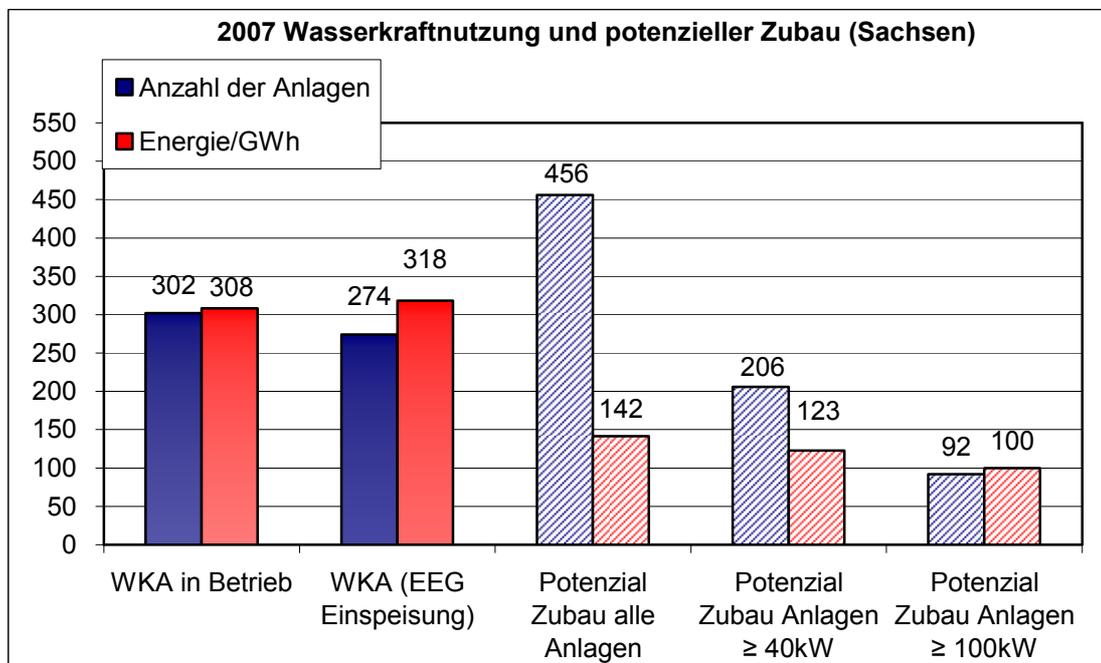


Abb. 3.4-4: Sachsen - Anzahl der Wasserkraftanlagen und Jahresenergieertrag

3.4.4.4 Potenzial – Flussgebiet - Mulde / Weiße Elster

Das Flussgebiet Mulde / Weiße Elster bildet wegen seiner Größe und seiner geographischen Bedingungen den Schwerpunkt der Wasserkraftnutzung und der Potenziale in Sachsen. Hier sind Anlagen mit etwa 80% der in Sachsen installierten Leistung in Betrieb. Naturgemäß ist auch hier das größte Potenzial für den Zubau zu erwarten (vgl. Abb. 3.4-5 und Tab. 3.4-3).

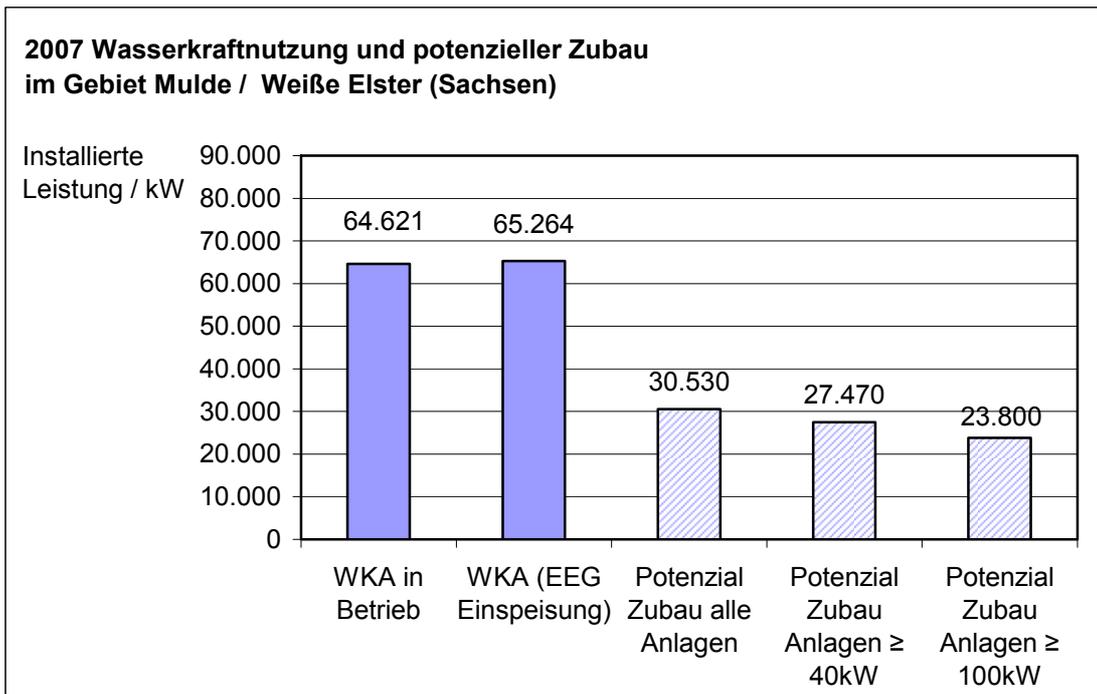


Abb. 3.4-5: Flussgebiet Mulde / Weiße Elster - Installierte Leistung und potenzieller Zubau

	WKA-Anzahl [n]	Leistung [kW]	Leistung/WKA [kW]	Energie [GWh]
WKA in Betrieb	217	64.621	298	258
WKA (EEG Einspeisung)	195	65.264	335	268
Potenzial Zubau alle Anlagen	290	30.530	105	122
Potenzial Zubau Anlagen $P \geq 40$ kW	153	27.470	180	110
Potenzial Zubau Anlagen $P \geq 100$ kW	82	23.800	290	95

Tab. 3.4-3: Flussgebiet Mulde / Weiße Elster - Wasserkraftanlagen Anzahl, Leistung, Jahresarbeit

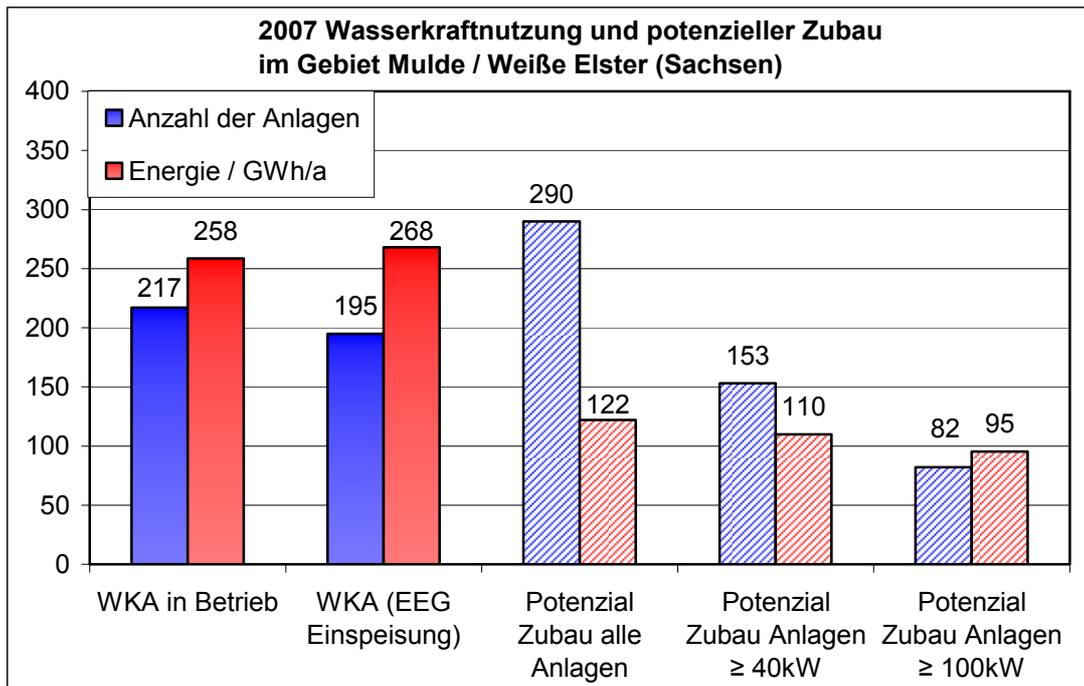


Abb. 3.4-6: Flussgebiet Mulde / Weiße Elster - Anzahl der Wasserkraftanlagen und Jahresenergieertrag

Die ausbaufähigen Standorte mit größeren Leistungen konzentrieren sich vor allem auf die Flüsse

- **Zwickauer Mulde** mit den Nebenflüssen Schwarzwasser und Chemnitz
- **Freiberger Mulde** mit den Nebenflüssen Zschopau, Preßnitz und Flöha
- **Vereinigte Mulde**
- **Weißer Elster**

Dabei wird der **Vereinigten Mulde** besondere Bedeutung zugemessen. Mit den Standorten **Kollau** (Ortsteil Gemeinde Thallwitz) und **Wurzen** (beide Lkr. Leipzig) mit jeweils etwa **5.000 kW** installierbarer Leistung sind zwei hervorragende Anlagen aus den verschiedensten Gründen seit Jahren ungenutzt.

Im Flussgebiet Mulde / Weiße Elster ist der Ausbau des Potenzials der größeren WKA ($P \geq 100 \text{ kW}$) mit höchster Priorität anzugehen, da das auch den größten Effekt für die Erhöhung des Jahresenergieertrages bringt. Auch der mittlere Nennleistungsbereich $P = (40 \text{ bis } 100) \text{ kW}$ ist wie in den anderen Flussgebieten mit der Zielrichtung „Bewirtschaftung der Wehranlagen“ unter Nutzung der Wasserkraft nicht zu vernachlässigen.

3.4.4.5 Potenzial – Flussgebiet – Elbegebiet

Im Flussgebiet Elbe-Gebiet werden WKA mit etwa 10 % der in Sachsen installierten Leistung betrieben. In den nachfolgenden Abb. 3.4-7 und 3.4.8 sowie Tab. 3.4-4 sind die Verhältnisse dargestellt.

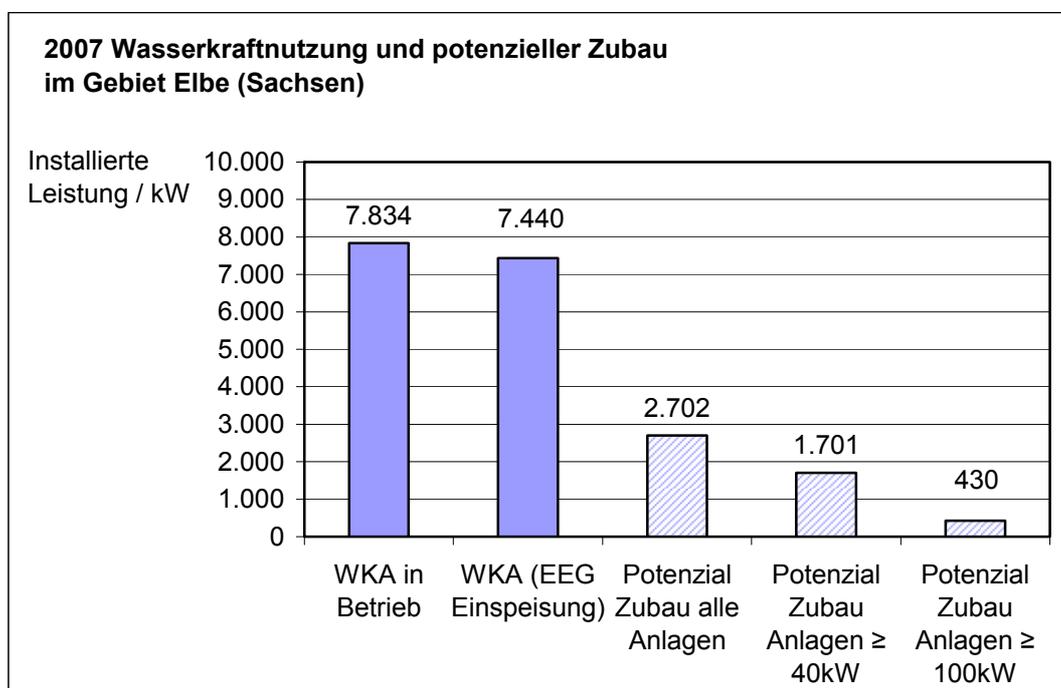


Abb. 3.4-7: Flussgebiet – Elbe-Gebiet - Installierte Leistung und potenzieller Zubau

	WKA-Anzahl [n]	Leistung [kW]	Leistung/ WKA [kW]	Energie [GWh]
WKA in Betrieb	43	7.834	182	27,4
WKA (EEG Einspeisung)	38	7.440	196	23,3
Potenzial Zubau alle Anlagen	76	2.702	36	9,5
Potenzial Zubau Anlagen P ≥ 40kW	25	1.701	68	6,0
Potenzial Zubau Anlagen P ≥ 100kW	2	430	215	1,5

Tab. 3.4-4: Flussgebiet Elbe-Gebiet – Wasserkraftanlagen - Anzahl, Leistung, Jahresarbeit

Zwei Standorte für die Rekonstruktion von größeren Anlagen ($P \geq 100 \text{ kW}$) wurden an den Flüssen Wesenitz und Kirnitzsch (Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge) ausgemacht. Für das Flussgebiet Elbe-Gebiet und auch die konkreten Flüsse liegt das größere Ausbaupotenzial im mittleren Leistungsbereich $P = (40 \text{ bis } 100) \text{ kW}$. Dabei sind vor allem die Flüsse **Sebnitz**, **Müglitz**, **Rote-**, **Wilde-** und **Vereinigte Weißeritz** sowie **Triebisch** zu nennen.

Der Ausbau der Wasserkraftnutzung im kleinen Leistungsbereich $P = (10 \text{ bis } 40) \text{ kW}$ wäre mit einer entsprechend größeren Anzahl von Wasserkraftanlagen verbunden. Diese Standorte sind bei der Frage der Eigenversorgung und Energieautarkie einzelner Gemeinden in die Diskussion einzubeziehen. Ein großer Einfluss auf die generelle Stromversorgung in Sachsen wird jedoch nicht gesehen.

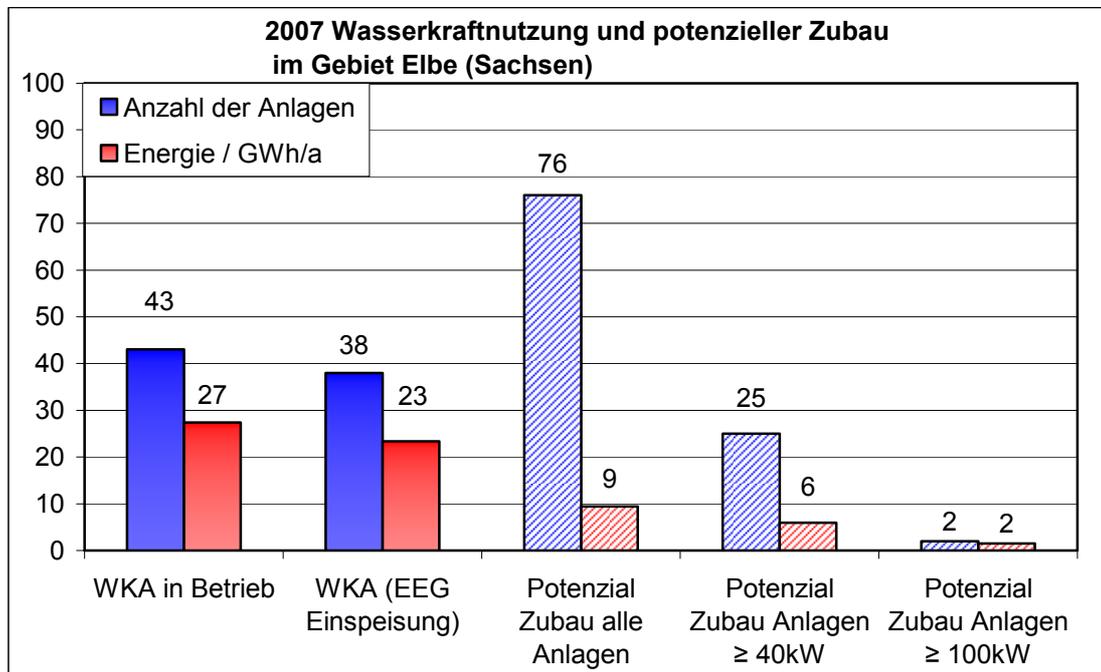


Abb. 3.4-8: Flussgebiet Elbe-Gebiet - Anzahl der Wasserkraftanlagen und Jahresenergieertrag

Sanierungsmaßnahmen im Rahmen der Hochwasserschadensbeseitigung führten augenscheinlich besonders an der Müglitz und an der Roten / Vereinigten Weißeritz zu einem starken Rückbau von Wehranlagen, die für die Nutzung der Wasserkraft geeignet waren. An wirtschaftlich lohnenden Standorten sollte auch hier die Rekonstruktion der Standorte erwogen werden.

3.4.4.6 Potenzial – Flussgebiet - Neiße / Schwarze Elster

Im Flussgebiet Neiße / Spree / Schwarze Elster sind Anlagen mit etwa 8% der in Sachsen installierten Leistung angesiedelt. In den nachfolgenden Abb. 3.4-9 und 3.4-10 sowie Tab. 3.4-5 sind die Verhältnisse dargestellt.

Die Standorte für die Rekonstruktion von größeren Anlagen ($P \geq 100 \text{ kW}$) liegen an den Flüssen **Spree**, **Schwarzer Schöps** und **Neiße**. An der Neiße wird eine WKA mit der installierten Leistung von 184 kW voraussichtlich 2009 angeschlossen.

Ein größeres Ausbaupotenzial im mittleren Leistungsbereich $P = (40 \text{ bis } 100) \text{ kW}$ liegt an den Flüssen Spree und Schwarzer Schöps.

Für die **Schwarze Elster** und ihre Nebenflüsse liegen sowohl die in Betrieb befindlichen WKA als auch die potenziellen Zubauten in der Regel im kleinen Leistungsbereich von $P = (10 \text{ bis } 40) \text{ kW}$. Der Ausbau der Wasserkraftnutzung in diesem Bereich wäre mit einer entsprechend größeren Anzahl von WKA verbunden. Diese Standorte sind bei der

Frage der Eigenversorgung und Energieautarkie einzelner Gemeinden in die Diskussion einzubeziehen. Ein großer Einfluss auf die generelle Stromversorgung in Sachsen wird auch für diesen Leistungsbereich im genannten Flusssystem nicht gesehen.

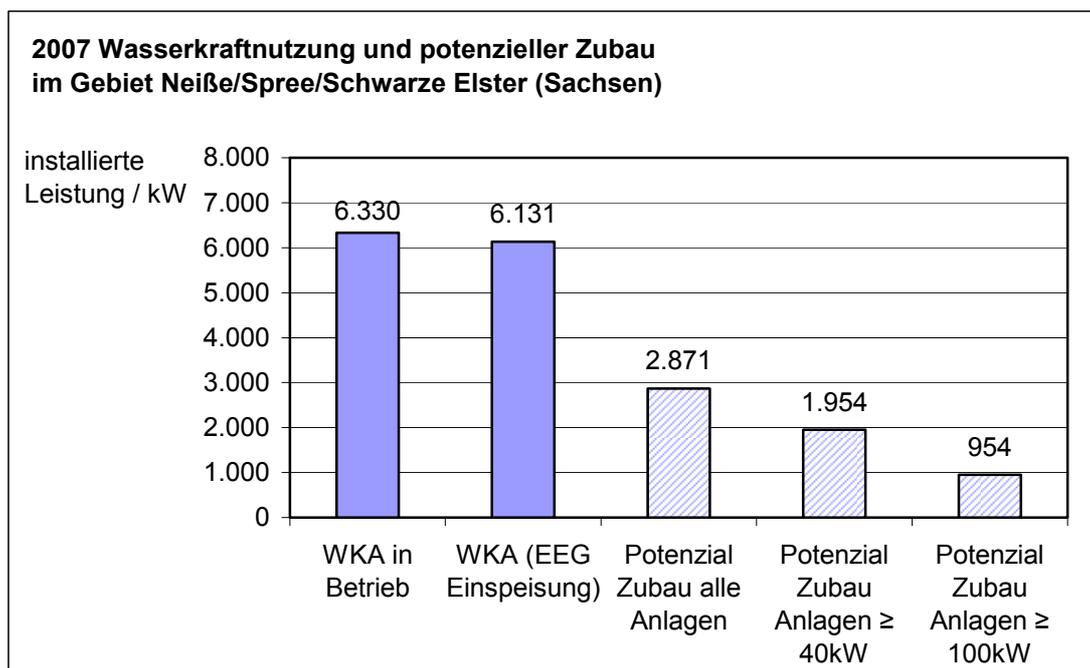


Abb. 3.4-9: Flussgebiet Neiße / Spree / Schwarze Elster - Installierte Leistung und potenzieller Zubau

	WKA-Anzahl [n]	Leistung [kW]	Leistung/ WKA [kW]	Energie [GWh]
WKA in Betrieb	42	6.330	151	22,2
WKA (EEG Einspeisung)	32	6.131	192	20,5
Potenzial Zubau alle Anlagen	90	2.871	32	10,0
Potenzial Zubau Anlagen P ≥ 40 kW	28	1.954	70	6,8
Potenzial Zubau Anlagen P ≥ 100 kW	8	954	119	3,3

Tab. 3.4-5: Flussgebiet Neiße / Spree / Schwarze Elster - Wasserkraftanlagen - Anzahl, Leistung, Jahresarbeit

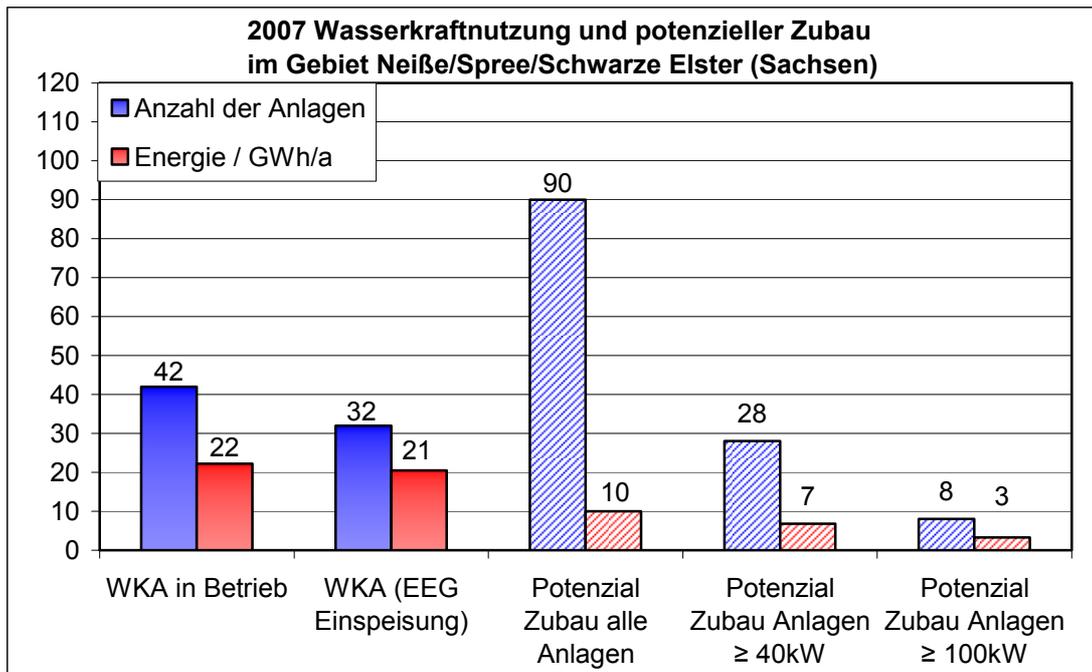


Abb. 3.4-10: Flussgebiet Neiße / Spree / Schwarze Elster - Anzahl der Wasserkraftanlagen und Jahresenergieertrag

3.4.5 Interessenkonflikte und Argumentationen

Es gibt eine Reihe von Interessenten an der Nutzung des Wassers, die konträre Ansichten vertreten und alle auch ihre Ziele mit teilweise verbissener Hartnäckigkeit verfolgen. Trinkwasserbereitstellung und Brauchwasser für Landwirtschaft und Industrie stehen an dieser Stelle eher nicht im Fokus des Streites. Da es bei diesem Thema um die Nutzung der Wasserkraft, insbesondere der „Kleinen Wasserkraft“ geht, sind es in erster Linie die Interessen

- des **Naturschutzes**,
- der **Fischerei, Sportangler** und
- der **Wasserkraftwerksbetreiber**,

die vehement aufeinanderprallen. In einem Material des Deutsche Umwelthilfe e.V. Berlin sind die Aussagen zusammengefasst, aus denen hier zitiert wird /38/.

*„Flüsse und Bäche gehören nach Meinung des **Naturschutzes** zu den weltweit bedrohtesten Ökosystemen. Europa hat anteilig die meisten beeinträchtigten Flüsse und in Mitteleuropa gibt es wenige frei fließende und intakte Abschnitte von Flüssen und Bächen. Ein weiterer Ausbau der Wasserkraft bedroht die kostbaren Reste. Wasserkraft ist nicht „umweltfreundlich“, „ökologisch“ oder „sauber“, weil verantwortlich für die Zerstörung oder erhebliche Beeinträchtigung eines unserer wichtigsten Ökosysteme.*

Die Wasserkraft ist seit langer Zeit ausgebaut und kein Fluss mehr unberührt. Sie ist bereits überausgebaut und die Auswirkungen sind in den Roten Listen bedrohter Tiere und Pflanzen anschaulich“.

Auswirkungen sind:

- Zerstückelung der Fließgewässerlebensräume durch Staudämme und Ausleitungen,
- Verlust des Fließgewässerlebensraumes in gestauten Abschnitten und in den Rinn-salen vieler Ausleitungsstrecken und
- Unterbrechung des Sedimenttransportes und die Verschlammung in den Stauräumen.

Nach Darstellung des Naturschutzes ist eine Verschlechterung des Zustandes der Fließgewässer zu verhindern und die Gewässerstruktur und Durchgängigkeit zu verbessern. Dazu gehört der Rückbau von Anlagen, wo wichtige Biotope und Biotopverbindungen betroffen sind. Die zusätzlichen Zahlungen für ökologische Verbesserungen nach dem EEG reichen für die notwendigen Verbesserungen keinesfalls, ein Zustand von Uraltrechten ohne jegliche ökologische Verpflichtungen ist nicht mehr hinnehmbar.

Die Sichtweise der **Fischereinutzer** und **Sportangler** wird in /40/ zum Ausdruck gebracht:

„Dem Bürger wird suggeriert, dass die Wasserkraft nicht nur regenerativ, sondern auch umweltfreundlich ist, weil dadurch Treibhausgase vermieden werden. Wie wir wissen, ist das Gegenteil der Fall. Das betrifft vor allem Strom, der durch die Kleinwasserkraftanlagen erzeugt wird. Der Nutzen steht hier in absolut keinem Verhältnis zum Schaden an der Natur. Gegen die Degeneration großer Fließgewässerstrecken, vor allem durch kleine Wasserkraftanlagen, hilft auch nicht das Zertifikat „Ökostrom“. Die gesamte in Deutschland durch Wasserkraft erzeugte Elektroenergie beträgt ca. 5%. Die Kleine Wasserkraft hat daran ca. 10% Anteil. Daraus ergibt sich für die derzeit in Betrieb befindlichen Kleinwasserkraftanlagen ein Anteil an der gesamten in Deutschland erzeugten Elektroenergie von 0,5 Prozent! Nach einer Studie des Umweltbundesamtes von 1997 verzeichneten die Kleinwasserkraftanlagen zu diesem Zeitpunkt eine CO₂-Einsparung von 0,09 Prozent!“

Die Wasserkraftnutzung stellt eine besondere Problematik für die Fischwanderung dar. Häufig werden Fische bei der Wanderung stromabwärts in Turbinen getötet. Besonders gefährdet ist der Aal. An vielen dieser Wehre gibt es keine oder eingeschränkt funktionierende Fischwanderhilfen.“

Die negativen Einflüsse von Stauanlagen auf die typische Fischfauna in einem Fließgewässer wird mit zahlreichen anzweifelbaren Fakten demonstriert, ohne, dass diese hier ausführlich wieder gegeben werden können.

In der weiterführenden Argumentation behaupten die Gegner, dass kleine WKA an kleinen Flüssen liegen, die Lebens- und Vermehrungsraum von Forellen, Äschen, Lachs und Meerforellen sind. Die natürlichen Schwankungen der Wasserführung werden durch Querverbauungen und Schwallbetrieb erheblich und irreparabel gestört. Die Staubereiche verlieren ihre Lebensraumfunktionen für die o. g. Fischarten. Im Unterlauf fallen Kies- und Sandbänke trocken und im weiteren Verlauf verändern diese Bedingungen den Fluss so gravierend, dass ein Ausgleich nicht mehr möglich erscheint.

Der „gute ökologische Zustand“ ergibt sich aus der Betrachtung eines natürlichen, unbelasteten Gewässers. Die Bestandserhebung hat gezeigt, dass 2/3 der Fließgewässer in Deutschland strukturelle und morphologische Defizite haben und somit das primäre Ziel, bis 2015 „einen guten ökologischen Zustand“ zu erreichen, unwahrscheinlich ist. Hierfür sind in erster Linie die Querverbauungen verantwortlich. In vielen Fällen ist die rechtliche Nutzung nicht immer zweifelsfrei, in anderen Fällen wurden die bis heute geforderten Genehmigungsaufgaben nicht erfüllt, etc.

Die Sichtweise der **WKA-Betreiber**, in /41/ zum Ausdruck gebracht, sieht erwartungsgemäß völlig anders.

Die fehlende Durchgängigkeit an den Stau- und Wehranlagen wird als Hauptargument für den Rückgang der Fischbestände sowie der Artenvielfalt in den Fließgewässern genannt. Tatsächlich sind für den Rückgang viele Ursachen im Komplex verantwortlich, die sich real darstellen durch:

- Gewässerverschmutzung,
- Sedimenteintrag,
- Verschluss des Lückensystems,
- Hormoneinschwemmung,
- Gewässerbegradigung,
- Uferbetonierung,
- Drainage,
- immer steilere Hochwasserabflüsse,
- eingeleitete Abwasserfluten,
- Überfischung und
- ausdrückliches Fehlen geeigneter Laichmöglichkeiten.

Letzteres wirkt sich besonders gravierend aus. Bis vor wenigen Jahrzehnten waren die das Gewässer begleitenden Wiesen von einem Netz von Gräben durchzogen. Die Graslaicher konnten bei den alljährlich stattfindenden periodischen Wiesenüberschwemmungen ihren Laich im Überschwemmungsbereich ablegen und fanden nach dem Rückgang des Hochwassers ideale Habitate in den Entwässerungsgräben. Sie konnten sich in diesen Bereichen ungestört entwickeln, und dann, wenn sie größer wurden, ins Hauptgewässer abwandern.

Die von den Gegnern der Wasserkraftnutzung ins Feld geführte Durchgängigkeit gab es nie und war auch nie notwendig. Ab der Mitte des letzten Jahrhunderts wurden nahezu alle diese Kleingewässer, vor allem aber die Wässerungsgräben im Zuge der Flurbereinigung und der Neuordnung der Landwirtschaft entweder verfüllt oder verrohrt. Daher gab es nun plötzlich sowohl im Salmoniden- wie auch im Brachsenbereich kaum noch natürliche Vermehrung.

Es wird die Durchgängigkeit von der Mündung bis zur Quelle verlangt, obwohl die Gebirgsflüsse auch im unberührten Zustand nicht durchgängig waren und bis in die Mitte des letzten Jahrhunderts trotzdem reiche, selbstreproduzierende Fischbestände aufwiesen. Bei Herstellung der Durchgängigkeit von der Mündung bis zur Quelle wird es keinen Fisch mehr in unseren Gewässern geben. Nur die Herstellung von Laichgründen, verbunden mit der Wiederherstellung von geschützten Jungfischhabitaten kann die verloren gegangene Selbstreproduktion wieder zurückbringen. Wildflüsse ohne Durchgängigkeit haben keineswegs einen schlechten Fischbestand, in der Regel hat

fehlende Durchgängigkeit keinen Einfluss auf den standortgeprägten Fischbestand. Mit dem Rückgang der Wehre und Querbauwerke gingen auch die Fischbestände zurück – Je weniger Wehre, desto weniger Wiesengräben, desto weniger Brutfische und desto weniger Forellen.

Mit der Forderung nach Herstellung der totalen Durchgängigkeit und den Rückbau der Wehre gibt es noch weniger Rückzugsgebiete, noch weniger Entwicklungsmöglichkeiten für Brut- und Jungfische, noch weniger Fische. Wenn Bachforellen sich wieder selbst reproduzieren sollen, dann gibt es nur eine wirksame Abhilfe: Erhaltung aller noch vorhandenen Wehre und Öffnung der davon früher einmal abgehenden Wässerungsgräben, Bau neuer Bachverzweigungen und Quellgräben, gleichzeitig aber auch Öffnung aller Sicker- und Drainagegräben, wo dies nur irgendwie geht.

Der Abriss bestehender Wehre und Querbauwerke und ihre Verwandlung in so genannte raue Rampen, verringert den ohnehin eingeschränkten Lebensraum in unserer Kulturlandschaft und trägt dazu bei, dass die Fischbestände und damit die gesamte Vielfalt des aquatischen Lebens nicht gefördert, sondern weiter zurückgehen wird.

Es ist nachweisbar, dass die Fischbestände dort am höchsten sind und die beste Reproduktionsfähigkeit erreicht wird, wo es viele Querbauwerke, abgeleitete offene Triebwerksgräben aber auch Wiesen- und Drainagebäche gibt. Mit der Rekonstruktion von kleinen WKA an historischen Standorten kann das früher bestehende Netz der Bachverzweigungen der Wiesenwässerungs- und Quellgräben wenigstens teilweise wieder geöffnet werden. Dies bedeutet, dass zusammen mit der Wasserkraftnutzung eine Verbesserung der Selbstproduktion der Fischbestände, aber auch eine wesentliche Förderung des gesamten aquatischen Artenspektrums ermöglicht werden kann.

Die Forderung nach Beseitigung aller Querverbaue und damit die Verhinderung der Wasserkraftnutzung nutzt niemandem, sondern schadet der Gewässerökologie und den Fischbeständen, aber auch den Menschen, indem die Potenziale an umweltfreundlicher erneuerbarer Energie zum Schaden für das Gemeinwohl und zugunsten endlicher Energien mit allen negativen Folgen ungenutzt bleiben.

Im Rahmen der naturschutzfachlichen und gewässerökologischen Argumentation sollen auch die Zusammenhänge zwischen **Wasserkraftnutzung**, **Hochwasserschutz** und **Wasserrückhalt** näher beleuchtet werden.

In Sachsen ist nach dem Hochwasser des Jahres 2002 dem vorbeugenden Hochwasserschutz eine starke Priorität eingeräumt worden. Vor diesem Hintergrund und im Rahmen der Hochwasserschadensbeseitigung wird auch die Beseitigung von potenziellen Standorten für die Wasserkraftnutzung betrieben. Dieses Vorgehen ist aus mehreren Gründen kontraproduktiv:

- Standorte werden beseitigt und die Beseitigung von Wehren als „**ökologische Ausgleichsmaßnahme**“ für andere Beeinträchtigungen von Natur und Umwelt angeboten. Gleichzeitig wird in der beabsichtigten Gesetzgebung /42/ die Rekonstruktion von Wasserkraftanlagen nur an vorhandenen Anlagenstandorten zugelassen. Das geschieht im Widerspruch zum Nachhaltigkeitsprinzip, nach dem kommenden Generationen die Möglichkeit zur Rekonstruktion nicht verwehrt werden soll. Die Nutzung der regenerativen Energie **Wasserkraft** wird damit massiv verhindert.

- Wehre an Wasserkraftanlagen können sicherlich keine Jahrhunderthochwasser aufhalten und ausgleichen. Kleinere Hochwasserabflüsse sind durch die Verringerung der Ablaufgeschwindigkeit, die sonst durch andere Wasserbauwerke erreicht werden müsste, aber durchaus beeinflussbar.
- Die Staubereiche der kleinen Wasserkraftwerke haben sich im Laufe der Zeit auch zu wichtigen Biotopen entwickelt. (**Zitat:** „Durch die jahrhundertelange Stauhaltung und Nutzung können beispielsweise neue wertvolle Ökosysteme im Umland oder direkt am Bauwerk entstanden sein“ /43/). An dieser Stelle ist ihre Wirkung für den Wasserrückhalt in der Landschaft gerade bei geringen Wasserabläufen positiv zu bewerten. Sie bilden die Verbindung zu den benachbarten Landflächen, die Möglichkeit zur Auffüllung von Grundwasserbeständen, der Verringerung der Grundwasserdynamik und auch für den Antrieb von kleinen Wasserkreisläufen mit Verdunstung und Kondensation zur Stabilisierung eines lokalen Klimas (vgl. /44/).

Abb. 3.4-11 vermittelt einen Eindruck von einer modernen, automatisch arbeitenden WKA. Diese wird an der Zschopau im Altkreis Döbeln betrieben und ist in die Wehrachse eingeordnet. An diesem Standort befindet sich seit mehreren hundert Jahren ein Wehr, denn auf beiden Seiten des Flusses funktionierten zwei von Wasserkraft über Ausleitgräben betriebene Mühlen.



Abb. 3.4-11: WKA „Wöllsdorf“ - Zschopau – (Lkr. Mittelsachsen); P = 350 kW;
mit Fischauf- und -abstiegshilfe
Quelle: Foto, Schlegel, 18.10.2006

In der Luftaufnahme in Abb. 3.4-12 ist die Zschopau mit dem Wehr, der WKA, einschließlich Fischaufstiegs- und -abstiegshilfe gut erkennbar. Zusätzlich sind die beiden Ausleitgräben, rechts und links neben dem Wehr in Fließrichtung beginnend, zu sehen.

Auch die früheren Mühlengebäude sind zwischen den Bäumen sichtbar. Die baumbestandenen Ausleitgräben münden jeweils nach etwa 800 bis 1.000 Meter flussabwärts wieder in die Zschopau.

Die nach 1990 neu errichtete WKA wurde als Fluss-WKA ausgelegt, dadurch entfallen hier die Probleme, dass eine Mindestrestwassermenge über das Wehr gesichert werden müsste.



Abb. 3.4.12: WKA „Wöllsdorf“ – Zschopau (Lkr. Mittelsachsen)
Quelle: Luftbildaufnahme, LfUG, 2005

3.4.6 Ergebnisbewertung und Zusammenfassung

Gemessen am sächsischen Wasserkraftpotenzial sowie der Bedeutung für die Stromversorgung wurden die Argumente der jeweiligen Interessengruppen Naturschutz, Fischerei/Sportangler und WKA-Betreiber über das eigentliche Maß hinaus dargestellt. Die Autoren dieser Studie stehen uneingeschränkt hinter der Wasserkraftnutzung und verstehen diese auch als eine grundlegende Auseinandersetzung mit der Gegnerschaft, weil diese nicht nur gegen die Wasserkraftnutzung einen Feldzug führt, sondern stellvertretend gegen die Nutzung aller erneuerbaren Energieträger.

Wasserkraftgegner sind heute gegen die Windenergie, morgen gegen Biogasanlagen und übermorgen gegen PV-Kraftwerke. Diese Gruppe vertritt ausschließlich „**Partikularinteressen**“ und kann offensichtlich nach wie vor nicht begreifen, dass ein aktiver „**Klimaschutz**“ heute der beste Naturschutz ist. Bezogen auf die Wasserkraftnutzung, spielt Sachsen in diesem Konzert keine Hauptrolle, aber in Deutschland werden aus WKA aller Größenordnungen etwa **23.000 GWh/a** in die Netze eingespeist. In Sachsen werden pro Jahr etwa 21.000 GWh Strom verbraucht! Die CO₂-Bilanz ist alles andere als vernachlässigbar:

2007 wurden durch Strom aus Wasserkraft CO₂-Emissionen in Höhe von **22,5 Mio. t** (BMU, März, 2008) vermieden!

Mit aller gebotenen Sachlichkeit: In Sachsen wird das ausbaufähige Potenzial durch die begrenzte Anzahl der wirtschaftlich zu betreibenden Standorte bestimmt. Für alle anderen Probleme sollte es Lösungen geben. Gesprächsbereitschaft der WKA-Betreiber liegt vor.

Das noch zu erschließende Wasserkraftpotenzial in Sachsen liegt nach den oben angestellten Betrachtungen bei einer installierten Leistung von etwa 31 MW mit der durchschnittlichen Jahresarbeit von etwa 123 GWh/a. Dabei handelt es sich in der Regel um kleine Wasserkraftanlagen.

In Sachsen haben in den zurückliegenden Jahren viele Maßnahmen dazu geführt, dass die Nutzung der Wasserkraft auch an den dafür geeigneten Standorten erschwert wurde. Als Beispiel sei an dieser Stelle nur die Problematik der Altrechte genannt. Ausgehend von den aktuellen Erfordernissen zum Klimaschutz ergibt sich auch für Sachsen die Forderung, alle verfügbaren Möglichkeiten zur klimaunschädlichen Energiegewinnung zu nutzen. Wasser ist zu wertvoll, um auf die Mehrfachnutzung

- Energiegewinnung,
- Erhaltung von Landschaft und Vegetation und damit die positive Beeinflussung der Kulturlandschaft

zu verzichten.

Flussgebiet	Bestehende WKA (Mittelwerte)		Möglicher Zubau (Anlagen P > 40 kW)	
	Leistung in [MW]	Energie in [GWh/a]	Leistung in [MW]	Energie in [GWh/a]
Mulde / Weiße Elster	65	263	27	110
Elbe - Gebiet	8	25	2	6
Neiße / Spree/ Schwarze Elster	6	22	2	7
Sachsen P _{vorh} E _{vorh} P _{zusä} E _{zusä}	79	310	31	123
Σ Sachsen	110	433		

Tab. 3.4-6: Ergebnisübersicht der Wasserkraftnutzung in Sachsen 2008 bis 2020

Im Ergebnis dieser Studie konnte der Nachweis erbracht werden, dass die Behauptung, die Wasserkraftnutzung in Sachsen sei ausgereizt, nicht den realen Verhältnissen entspricht.

Wasserkraftanlage (WKA) - Leistung 2007 [P] - Stromertrag 2007 [E] - Leistung bis 2020 [P _{Nges.}] - Stromertrag 2020 [E]	79 MW 310 GWh/a 110 MW 433 GWh/a
Äquivalentversorgung Haushalte (HH)	176.000 HH
Anteil am Stromverbrauch 2020 2007: E _{Verb} ≈ 21.000 GWh/a (geschätzt)	2,1 %
CO₂-Reduzierung f _{CO2} = 0,922 kg CO ₂ /kWh _{el} /14/	400.000 t/a

Tab. 3.4-7: Ergebniszusammenstellung Wasserkraftnutzung

In den Tab. 3.4-6 und 3.4-7 sind die Ergebnisse der Wasserkraftnutzung zusammengefasst. Mit einer Umsetzung des noch vorhandenen Ausbaupotenzials von etwa **123 GWh/a** könnte eine mittlere Einspeisung von **E ≈ 433 GWh/a** erzielt und eine Äquivalentversorgung von rund **176.000** Haushalten gesichert werden. Die berechenbare CO₂-Reduzierung beträgt etwa **400.000 t/a**.

Ausgehend von diesen Überlegungen ist die Frage der Prioritäten bei der Nutzung der Wasserkraft und der Ausgleich der Interessen der beteiligten Partner neu zu bedenken. Dabei sollten auch die Aspekte der Landschaftspflege und die Schaffung von regional verwurzelten Arbeitsplätzen eine Rolle spielen.

3.5 Geothermienutzung

Die geothermische Stromerzeugung stellt die höchsten Anforderungen an das Temperaturniveau und an die Fluidförderraten, bzw. an die Produktivität der zu erschließenden „**geothermischen Lagerstätte**“.

Sachsen sitzt flächendeckend auf einem für die geothermische Stromerzeugung nutzbaren „**Wärmekissen**“, dessen Tiefe und „Füllung“ mangels Tiefbohraufschlüsse aber nicht konkret quantitativ belegbar sind. Die potenziellen Nutzungsräume im kristallinen Fundament Sachsens können zwar das mittlere Enthalpie-Niveau erreichen, bleiben aber aufgrund der geologischen Bedingungen unproduktiv, bzw. verschließen sich vorläufig einer einfachen und übertragbaren Gewinnungstechnologie.

Die Erschließung dieser geothermischen Ressourcen ist prinzipiell möglich und wurde schon 1988 für das Erzgebirge vorgeschlagen. Leider fehlte besonders in den 90-er Jahren das notwendige landespolitische Verständnis um eine Teilhabe Sachsens an dieser Zukunftstechnologie zu sichern, so dass gegenwärtig die Schwerpunkte der praktischen Forschung und Entwicklung deutlich außerhalb Sachsens zu suchen sind.

Das hat nicht nur mit geothermischen „Anomalievorteilen“ zu tun, da Sachsen ein eigenes „**geothermisches Modell**“ aufweisen kann, dessen regionale Übertragbarkeit einschließlich der „exportierbaren“ technologischen Erfahrungen schon Anlass genug für ein Engagement sein sollte. Dass davon die praktisch weitaus bedeutendere Wärmeversorgung (Nahwärmenetze) aus gleichen Reservoirs großen Nutzen hätte ziehen können, liegt auf der Hand. Analoge und indirekte Schlüsse erlauben es dennoch, das technische Potenzial einer geothermischen Stromerzeugung einem Teufenbereich von 4000-5000 m zuzuordnen, wobei eine Austrittstemperatur des Thermalwassers von 120°C als untere Grenze angenommen wird. Die Gewinnungstechnologie der verstrombaren Wärme ist untertägig durch das Modell „trockene heiße Gesteine“ (HDR: Hot-Dry-Rock) festgelegt. Eine effiziente Verstromung des Wärmeangebotes durch binäre Konversionsanlagen (ORC = **Organic-Rankine-Cycle** und **Kalina-Prozess**) ist unter diesen Bedingungen auf eine künstliche Produktivitätssteigerung im Thermalwasserkreislauf angewiesen. Die Entwicklung bzw. Stimulierung des potenziellen untertägigen Wärmetauschers ist eine der Kernaufgaben und in seiner Komplexität nur als interdisziplinäre Aufgabe zwischen Forschung und Industrie zu bewältigen.

Erkenntnisse aus laufenden und unterbrochenen HDR-Projekten können nicht im Verhältnis eins zu eins auf sächsische geologische Bedingungen übertragen werden und schon gar nicht fehlende Erfahrung mit Pilotanlagen ersetzen. Aufgrund der Komplexität und Einmaligkeit der natürlichen und anlagentechnischen Bedingungen gibt es gegenwärtig keine anwendbaren HDR-Verfahren aus der „Schublade“. Praxisnahe Forschung und Entwicklung können nur in einem In-situ-Labor stattfinden, d. h. ohne eine geothermische Dublette oder Triplette wird Sachsen keinen Anschluss an diese technologischen Entwicklungen finden.

Es besteht politischer Handlungsbedarf um die traditionell in Sachsen beheimatete verfahrenstechnische und geowissenschaftliche Kompetenz (TU Bergakademie Freiberg), trotz verllorener Jahre noch rechtzeitig auf die Zukunftstechnologie „**HDR-Strom + Wärme**“ zu lenken. Eine besondere Kompetenz könnte sich Sachsen verschaffen, in dem

die überkritische CO₂-Technologie im primären Kreislauf einer geothermischen Triplette entwickelt werden könnte, ohne dabei die aus der früheren Politik bekannte Methode „**Überholen ohne Einzuholen**“ durchscheinen zu lassen.

Obwohl die geothermische Stromerzeugung in Sachsen auch langfristig nur eine marginale Rolle einnehmen wird, bestenfalls nach 2050, sollten interdisziplinäre Impulse und erworbene technologische Exportfähigkeit Anreiz genug sein, wirtschaftliche Akteure - auch aus Sachsen - an diesen Vorhaben zu interessieren und zu beteiligen.

Der Beitrag einer kommerziellen geothermischen Stromerzeugung (HDR) bis zum Jahr 2020 in Sachsen muss mit aller Voraussicht leider mit „**Fehlmeldung**“ vorhergesagt werden.

Der unzureichende geologische Kenntnisstand über den Teufenbereich von > 3000m ist nicht das Hindernis für eine Einführung der tiefen Geothermie in Sachsen. Es sind keine zahlreichen an Krusteneinheiten gebundene Erkundungsbohrungen bis 5000m Teufe erforderlich, nur um Temperatur und Geologie zu kennen. Es ist die Realisierung von Dubletten, bzw. Tripletten an ein oder mehreren mit dem bereits vorhandenen Kenntnisstand auswählbaren Standorten als **In-situ-Labore**, die der Schlüssel zum Erfolg sind.

Der Ausweg besteht nicht im Warten auf außerhalb von Sachsen entwickelte Technologien, um wiederum nur besser abschätzen zu können, ob etwas geht oder nicht, sondern in einer von einem politischen Willen getragenen Initiative, in diese zukunftsfähige Technologie zu investieren.

3.6 Kombinationen erneuerbarer Energieträger

Für die bessere Nutzbarmachung Erneuerbarer Energien, zu der es aufgrund des anthropogen verursachten Klimawandels sowie der weltweit schwindenden Ressourcen keine Alternativen gibt, ist die Kombination der verschiedenen erneuerbaren Energieträger unabdingbar. Diese Aussage leitet sich aus der Charakteristik der fluktuierenden Energieträger Sonne, Wind und Wasser ab. Diese Energieträger hängen von ihrem natürlichen Angebot ab und unterliegen entsprechenden Schwankungen, bzw. Periodizitäten. Schwankungen und Periodizitäten bedürfen des Ausgleiches, um eine durchgehende, störungsfreie Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Besonders wichtig ist das für die Windenergie, deren optimale Nutzung das Zusammenwirken mit anderen Energieträgern erfordert. Neben dem großen Ziel der Schaffung „**Virtueller Kraftwerke**“ oder auch „**Kombi-Kraftwerke**“ genannt, die im Idealfall alle regenerativen Energieträger vereinen, sind auch Zwischenschritte überlegenswert.

- Photovoltaikanlagen (PV) + Windenergieanlagen (WEA)

Große Windenergieanlagen verfügen über relativ große Turmflächen, die aus Gründen der ungehinderten Anströmung auch frei stehen müssen. Die Nutzung dieser Flächen für PV-Anlagen bietet sich deshalb als gute Kombination an. Dabei ist auch möglich, einen Teil der Schwankungen des Windenergieangebotes durch die PV-Anlage auszugleichen. Die Nutzbarkeit der Windenergie wird damit insgesamt verbessert.

Gegenüber reinen Freiflächen-PV-Anlagen ergeben sich folgende Vorteile:

- kein zusätzlicher Flächenbedarf,
- keine zusätzlichen Einspeiseleitungen, da diese durch höhere Nennleistung der WEA abgedeckt sind,
- keine Rechtsprobleme bei Identität von Betreiber/Eigentümer der WEA und PV-Anlage.

Zum Beispiel ergeben sich für 1.000 WEA mit Turmhöhen von $H_N = 100$ m, mittlerem Turmdurchmesser von 4 m und Rotordurchmesser $RD = 80$ m ca. **240.000 m²** Flächen für PV-Anlagen.

- Photovoltaikanlagen (PV) + Biogasanlagen (BGA)

Auch Biogasanlagen verfügen in der Regel über relativ große Dach- und Frontflächen, die für PV geeignet sein können. Mit Ausnahme der Tatsache, dass BGA nicht immer völlig frei stehen, ergeben sich prinzipiell die gleichen Vorteile wie bei der Kombination vom WEA mit PV-Anlagen.

- Windenergieanlagen (WEA) - und Wasserkraftanlagen (WKA)

Die Tatsache, dass Sachsen selbst über Pumpspeicherkraftwerke (PSW) verfügt, sollte schon nahezu selbstverständlich eine Kombination mit WEA ins Blickfeld rücken. Damit kann neben der Grundlast auch weiterhin eine Spitzenlastabdeckung erfolgen. Neben der eigentlich schon klassisch anmutenden Variante der Windenergienutzung in Verbindung mit PSW ist es durchaus sinnvoll, auch kleinere Wasserkraftanlagen mit in Betracht zu ziehen. Kleine WKA müssen üblicherweise mit bestimmten Rest- oder

Mindest-Volumenströmen betrieben werden, die den natürlichen Flusslauf ohne Energiegewinnung passieren. In Verbindung mit WEA kann die Regelung so erfolgen, dass immer eine bestimmte Gesamtleistung abgegeben wird, aber in windstarken Zeiten ein erhöhter Aufstau mit dem Ziel der Speicherung erfolgt. Die gespeicherte Energie steht dann ähnlich wie bei den PSW auch für Spitzenlast zur Verfügung.

In der Stadt Dardesheim (Lkr. Harz) wird ein Windpark mit größerer Leistung betrieben, der in einem Projekt mit dem PSW Wendefurth gekoppelt ist. Überschüssiger Windstrom wird als Pumpenstrom für die Wasserhebung in das Oberbecken verwendet. Bei störungsfreiem Betrieb wird aus dem teilregenerativen PSW ein vollregeneratives Kraftwerk.

Neben einem grundsätzlichen Überdenken der Forderungen seitens des Naturschutzes zu den Rest-, bzw. Mindestwassermengen ist es dazu erforderlich, gewisse Schwankungen mit einer Erfüllung im zeitlichen Mittelwert zuzulassen.

Neben dem Ausgleich der Angebotsschwankungen durch Kombination verschiedener erneuerbarer Energieträger sind im Zusammenhang mit der Windenergienutzung zwei weitere Wege möglich: Die Direktvermarktung von Überschussstrom und die Speicherung.

- Direktvermarktung von Überschussstrom

Grundansatz ist die Tatsache, dass die Direktnutzung von Windenergie, die nicht im Elektroenergienetz aufgenommen werden kann, immer einer Abschaltung der WEA (**Erzeugungsmanagement** „ErzMan“) vorzuziehen ist da diese auch energetisch effektiver als eine Speicherung ist.

Bei genauer Betrachtung ergeben sich tatsächlich Aufgaben, die sich zum Teil mit direkter Nutzung realisieren lassen, wie zum Beispiel die Trinkwasseraufbereitung oder die Trocknung von Futter in der Landwirtschaft; Dies sind Prozesse, die durch eine gewisse Speicherfähigkeit der Produkte gekennzeichnet sind. Auch die Nutzung der Überschuss-Elektroenergie zur Heizungsunterstützung (und der damit verbundenen Speicherwirkung) ist immer noch sinnvoller als die Abschaltung der WEA.

Im Wesentlichen sind zwei Schritte nötig, um die Direktnutzung zu verwirklichen:

- zielgerichtete Suche nach Prozessen, die die Nutzung von Energie-Überschüssen erlauben, die nicht ins Netz eingespeist werden können,
- Schaffung der rechtlichen und technischen Voraussetzungen zur Vermarktung der Überschüsse.

- Elektroenergiespeicherung

Zur Realisierung großer kurz- und mittelfristiger Speicherkapazitäten für Elektroenergie sollten folgende Wege verfolgt werden:

- Einbindung klassischer Speichertechniken, in Sachsen z. B. PSW (Markersbach, DD- Niederwartha),
- Intensivierung der Forschung zu neuen Speichertechnologien
 - bisherige Möglichkeiten, die Energiebereitstellung an den Bedarf zu koppeln, haben die Entwicklung besserer Speichertechnologien nicht befördert
 - stärkere Dezentralisierung der Energietechnik und bessere Nutzung erneuerbarer Energieträger erfordert verbesserte Speichertechnologien,
- Einsatz von Schwungradspeichern in WEA und in PV-Anlagen,
- Einbindung von Elektrofahrzeugen als Netzspeicher,
- Druckluftspeicherung in Salzstöcken (Kavernen-KW).

Generelle Voraussetzung für diese Kombinationen und für die Direktvermarktung ist ein Ausbau des Elektroenergienetzes in Richtung eines Netzes mit sehr vielen Einspeisern. Eine derartige Netzstruktur wird aber auch nötig, wenn allein an die mehrfach geforderte Marktorientierung der Energieversorgung gedacht wird. Die gegenwärtige Struktur des Netzes mit relativ wenigen zentralen Einspeisern reicht dazu nicht aus.

Ein erster Schritt dazu könnte sogar unabhängig von den derzeitigen Energieversorgungsunternehmen (EVU) getan werden: die Vernetzung großer Einheiten regenerativer Energien untereinander. Schon damit sind gewisse Schwankungen ausgleichbar.

- Preisgestaltung für Energieträger

Die aktuellen Preiserhöhungen für alle Arten der Energieträger haben vor allem auch dies verdeutlicht: Energie ist wertvoll. Für einen bewussteren Umgang mit Energie sind gestufte Preise als Steuerungsinstrument sinnvoll. Beispielsweise könnte die Staffelung folgende Prämissen enthalten:

- Normalverbrauch,
- Verbrauch in Spitzenlastzeiten,
- Verbrauch in Unterlastzeiten,
- Speicherung in Unterlastzeiten,
- Rücklieferung der Speicherenergie (z. B. Elektrofahrzeuge, die in Betriebspausen als Speicher dienen).

Auch bei Erzeugung von Elektroenergie aus erneuerbaren Energieträgern sollten stets die Nutzungsmöglichkeiten thermischer Energie mit bedacht werden. Angefangen von den Kühlleistungen großer elektrischer Einheiten bis hin zu Kombinationen PV + Solarthermie ergeben sich hier völlig neue Erschließungsfelder regenerativer Energien.

- Biogene Energie

In den Medien werden derzeit Bioenergieträger für den Preisanstieg von Nahrungsmitteln verantwortlich gemacht. Unabhängig von der Tatsache, dass hier eine Reihe ganz anderer Faktoren eine große Rolle spielen (z. B. steigender Bedarf der Schwellenländer, Verteuerung des Transportes, Gentechnik, Finanzkrisen), muss verhindert werden, dass es zu Ressourcenkonflikten kommt. Deshalb ist es wichtig, biogene Rest- und Abfallstoffe (Grünschnitt, Gras, etc.) konsequenter zur Energiegewinnung zu nutzen (s. ausführlich Pkt. 3.3).

Gegenüber der Nutzung knapper landwirtschaftlicher Nutzfläche muss die Nutzung von Rest- und Abfallstoffen steuerlich oder anderweitig begünstigt werden. Damit werden auch Entsorgungsprobleme langfristig entschärft.

- Mobilität

Das Funktionieren der Zivilgesellschaft ist zu einem großen Teil an die Mobilität der Menschen gebunden. Knapper werdende Rohstoffe und Ressourcen sowie höhere Preise erfordern auch im Verkehr deutliche Anpassungen. Eine Steuerungsmöglichkeit ist dabei die stärkere Kopplung der Kraftfahrzeugsteuer an den Verkehr. Das ermöglicht es, neben größeren Fahrzeugen, die nur gelegentlich benutzt werden (Familienurlaub), auch kleinere anzuschaffen, ohne dafür mit zusätzlichen Steuern bestraft zu werden. Diese kleineren Fahrzeuge sind dann für tägliche Fahrten deutlich effektiver. Gerade die derzeitigen Ansätze für Elektrofahrzeuge (vorzugsweise aus regenerativen Quellen gespeist) werden eigentlich nur dann breitenwirksam, wenn für diese als Zweitfahrzeuge deutlich **geringere** Steuern zu zahlen sind.

Neue steuerliche Regelungen dieser Art erfordern Rahmenbedingungen, die über die Ebene eines Bundeslandes hinaus reichen.

3.7 Politische und bürokratische Hemmnisse

Die derzeitigen politischen und bürokratischen Hemmnisse in Sachsen sind so vielschichtig, dass diese nur ansatzweise aufgezeigt werden können. Seitens des Bundes stehen die Rahmenbedingungen mit den „Klimaschutzpaketen I und II“ fest. Die Realisierung muss aber in den Bundesländern erfolgen. In Sachsen fehlen ausreichende Regelungen für die Nutzung der Erneuerbaren Energien. Die Regionalen Planungsverbände (RPV) verstehen sich als „Klimaskeptiker“, meist aber als „Klimaleugner“ und geben vor, dass sie das Sächsische Klimaschutzprogramm 2001 erfüllt hätten, so dass in die Fortschreibung der Regionalpläne, die bis 2018 gelten sollen, keine neuen Zielstellungen für die Nutzung Erneuerbarer Energien aufgenommen werden müssten.

Bis auf wenige Ausnahmen ist bei den staatlichen Planungs- und Genehmigungsbehörden bezüglich der Berücksichtigung von Klimawandel, Klimafolgen und Klimaschutz, fachliche Inkompetenz vorhanden, die kaum noch zu übertreffen ist. Zur Veränderung dieses unverantwortlichen Zustandes bedarf es sofortiger Pflichtqualifizierungsmaßnahmen.

Die Realisierung der bundesgesetzlich festgeschriebenen Klimaschutzmaßnahmen könnte am sichersten gelingen, wenn, analog zum EEG, ein Vorranggesetz zur Errichtung und Betrieb von Anlagen für Erneuerbare Energien geschaffen würde.

Nachfolgend eine kleine Prioritätenliste:

- Quantitative Ausgestaltung des Klima- und Energieaktionsplans Sachsen,
- Anpassung des Landesentwicklungsplans an Klimaschutzvorgaben,
- Zielvorgabe von mindestens 1 % der Landesfläche für Windenergie,
- Vereinfachung der raumordnungsrechtlichen Zielabweichungsverfahren,
- Abbau der planungstechnischen Hemmnisse und Blockadehaltungen der Verwaltung,
- Keine Ausschlussgebiete außer Naturschutzgebiete, Nationalparks und Hindernisbegrenzungsbereiche der Flugplätze,
- Festlegung eines Prüfverfahrens mit externen Gutachtern an konfliktreichen Standorten wie bei
 - Vorranggebieten Natur- und Landschaft
 - Vorranggebiet Wald
 - FFH-Gebiete
 - Landschaftsprägende Höhenrücken und Kuppen
 - Sichtexponierte Bereiche,
- Nichtausschluss von Nutzwaldflächen,
- Generelle Überarbeitung von Abstandskriterien wie
 - WEA-Abstand zur Wohnbebauung in Abhängigkeit von Schallgutachten
 - Keine starre Abstandsregelung zwischen WEA/WP
 - Sichtbarkeitsanalyse zur Abstandsfestlegung zwischen WEA/WP,
- Aufhebung der Höhenbeschränkungen für WEA
 - Nabenhöhen von mindestens 100 m,
 - Vorgabe von Sichtweitenmessung für die Gefahrenbefreiung WEA,
- Konfliktpotenzialklärung über die SAENA GmbH
 - SAENA GmbH als Mediator ab Prozessbeginn,
- Vorkaufsrecht der Gemeinden bei Neuausweisung von VRG/EG,
- Ordentliche Ausschreibungsverfahren bei der Vergabe von Projektrechten,
- Eine Gemeinde mit WEA-Standorten soll in Zukunft mindestens 50 % des Gewerbesteueraufkommens erhalten,
- Repowering von WEA mit geringst möglichen Restriktionen,
- Beseitigung der Hemmnisse für die Errichtung neuer (Klein)-WKA, bzw. der Rekonstruktion aufgelassener Altanlagen,

- Flexible Gestaltung der Genehmigung von PV-Anlagen auf denkmalgeschützten Gebäuden,
- Vereinfachung der Baugenehmigungsverfahren für PV-Anlagen,
- Vorhaltung von mindestens 0,6 % der Landesfläche für PV-KW auf Freiflächen,
- Übernahme der Netzanschlusskosten durch EVU,
- Biogaseinspeisung in vorhandene Erdgas- und Mikrogasnetze,
- Zulassungen unabhängiger Messungen im Energiesektor,
- Konsequente Anwendung des Verursacherprinzips bei allen Schadstoffemissionen,
- Zusammenschaltung von WEA mit anderen erneuerbaren Energieträgern (eigene Teilnetze bis hin zu virtuellen Kraftwerken),
- Förderung energieautarker Gemeinden und Regionen,
- Stärkung der Stadtwerke als lokale Energieversorger.

In Sachen Klimawandel, Klimafolgen und Klimaschutz wird den **Medien** eine übergeordnete Bedeutung zugeschrieben. In klarer und überzeugender Sprache müssen die Fakten thematisiert und auf die Gefahren für die zukünftigen Generationen hingewiesen werden.

Die Medien müssen sich deutlich stärker für ein energetisch positives Käuferverhalten einsetzen, z. B. für energiesparende Geräte, Bauweisen und Fahrzeuge. Nur über die Medien kann vermittelt werden, dass hoher Energieverbrauch kein Wohlstandsindikator („Wir können uns das leisten!“) mehr sein kann.

4. Zusammenfassung und Darstellung der Gesamtergebnisse

Ziel dieser Studie war es, den Nachweis zu erbringen, dass bis zum Jahr 2020 ein EE-Anteil am Stromverbrauch von mindestens 30 % möglich ist. Darüber hinaus sollten die Autoren das technisch-realistische Potenzial einschätzen, inwieweit der Anteil der Erneuerbaren Energien darüber hinaus gesteigert werden kann, da der anthropogen verursachte Klimawandel eine möglichst schnelle hundertprozentige Umstellung auf erneuerbare Energieträger erfordert.

Die Autoren der Studie kommen zu dem Ergebnis, dass bis 2020 bei konsequenter Umsetzung der vorhandenen Möglichkeiten, die Stromversorgung aus erneuerbaren Energieträgern in Sachsen mit **17.288 GWh/a** auf einen Anteil von etwa **82 %** gesteigert werden kann. Damit wäre der Bedarf der 3,18 fachen Anzahl der sächsischen Haushalte gedeckt (Stromverbrauch der Haushalte: 2.460 kWh/a). Gleichzeitig können bis 2020 die jährlichen CO₂-Emissionen um etwa **15.930.000 t** verringert werden. Das sind rund **28 %** Reduktion.

Windenergieanlagen 2020	
- Stromertrag [E _{Wind}]	5.573 GWh/a (32,2%)
Photovoltaikanlagen 2020	
- Stromertrag [E _{Solar}]	5.745 GWh/a (33,2%)
Biomasse (fest) 2020	
- Stromertrag [E _{Biofest}]	3.003 GWh/a (17,4%)
Biogas 2020	
- Stromertrag [E _{Gas}]	2.534 GWh/a (14,7%)
Wasserkraftanlagen 2020	
- Stromertrag [E _{Wasser}]	433 GWh/a (2,5%)
Summe Sachsen 2020	
- Stromertrag [E _{Ges}]	17.288 GWh/a
- Äquivalentversorgung Haushalte (2.207.200 HH 2006)	3,18 fache von HH 2006
- Anteil am Stromverbrauch 2020 2007: E _{Verb} ≈ 21.000 GWh/a (geschätzt)	82 %
- CO ₂ -Reduzierung f _{CO2} = 0,922 kg CO ₂ /kWh _{el} /14/	15.930.000 t/a

Tab. 4-1: EE-Gesamtergebnisse Stromversorgung Sachsen 2020

Die Autoren verzichten darauf, eine zeitliche Frist für die Erreichung von 100 % der Stromversorgung aus erneuerbaren Energieträgern für Sachsen anzugeben. Sie bekennen sich aber uneingeschränkt zu diesem Klimaschutzziel. Der ehemalige Vizepräsident der USA *Al Gore* forderte am 17.06.2008 die Politiker seines Landes auf, die Stromversorgung innerhalb von nur **zehn Jahren** auf 100 % CO₂-freie Energien umzustellen. Das verbleibende Zeitfenster für die Abwendung einer globalen Klimakatastrophe verlangt sofortiges Handeln!

Die Ergebnisse dieser Studie werden zu Diskussionen bei Befürwortern und Gegnern führen. Das ist erklärte Absicht der Autoren und sie sind bereit sich diesen zu stellen. Für die auftraggebende Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Sächsischen Landtag Politiker soll die Studie umfangreiches Informationsmaterial und eine Fundgrube für die persönliche Arbeit sein. Die Studie soll Kenntnisse auf dem Fachgebiet der Erneuerbaren Energien vermitteln und die Schwierigkeiten aufzeigen, denen sich Planer, Investoren und Betreiber von EE-Anlagen gegenübergestellt sehen.

Die Arbeit selbst stellt immer eine Gratwanderung dar, bezüglich dessen, was an Zahlenmaterial, Tabellen, Grafiken unbedingt enthalten sein muss. Die Autoren haben versucht, die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse auch für den Nichtfachmann hinreichend sichtbar zu machen und hoffen, dass es gelungen ist.

Die hier vorgelegte Studie erscheint offensichtlich zum richtigen Zeitpunkt, denn angesichts der weltweiten Finanz- und Bankenkrise hallen die Rufe nach einer Pause beim Klimaschutz unüberhörbar. Diese Pause oder gar eine Verabschiedung von den gerade eingeleiteten Klimaschutzzielen kann und darf es aber nicht geben.

Das Zeitfenster für ein Umsteuern in der Energieversorgung mit erheblicher Reduzierung der Treibhausgasemissionen steht nur noch wenige Jahre offen. Die Autoren hoffen deshalb, mit dieser Studie einen kleinen Beitrag leisten zu dürfen, dass **Klimawandel** und **Klimaschutz** zum **Thema Nr. 1** in der Gesellschaft wird.

5. Literaturverzeichnis

- /1/ Bernhofer, Christian; et. al.:
Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse
Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL)
Dresden, September 2008.
- /2/ Walker, Gabriele; King, David:
GANZ HEISS Die Herausforderungen des Klimawandels
Berlin Verlag, 2008.
- /3/ Müller, Michael; Fuentes, Ursula; Kohl, Harald:
Der UN-Weltklimareport
Bericht über eine aufhaltsame Katastrophe
Kiepenheuer & Witsch, Köln, 2007.
- /4/ Flannery, Tim:
Wir Klimakiller – Wie wir die Erde retten können
Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main, Februar 2007.
- /5/ Gore, Al:
Eine unbequeme Wahrheit
Riemann Verlag, München, 2006.
- /6/ Graßl, Hartmut:
Klimawandel – Was stimmt? Die wichtigsten Antworten
Verlag Herder, Freiburg im Breisgau, 2007.
- /7/ Murray, Peter:
Klima im Wandel – Erde in Gefahr
Spektrum Akademischer Verlag, München 2007.
- /8/ Rahmstorf, Stefan; Schellnhuber, Hans Joachim:
Der Klimawandel
Verlag C. H. Beck, München, 2006.
- /9/ Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen
Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL);
Dresden, 2001.
- /10/ Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL)
Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit (SMWA)
Aktionsplan Klima und Energie des Freistaates Sachsen;
Dresden, Stand 03.06. 2008.
- /11/ ExxonMobil:
Entwicklung der Weltenergieversorgung, Treibhausgasemissionen und alternative
Energieträger
ExxonMobil, Texas 2004.
- /12/ Die Industrielle Revolution
Wie Dampf, Stahl und Strom die Welt veränderten
GEOEPOCHE, Nr. 30, 2008
Verlag Gruner + Jahr, Hamburg.
- /13/ Neugebauer, Reimund:
Effizienz ist die beste alternative Energie
Sächsische Zeitung, 29.10.2008.
- /14/ Staiß, Frithjof:
Jahrbuch Erneuerbare Energien 02/03
Biberstein-Fachbuchverlag Radebeul, 2003.

- /15/ Staiß, Frithjof:
 Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007
 Biberstein-Fachbuchverlag Radebeul, 2007.
- /16/ Schlegel, Hans-Jürgen:
 Untersuchungen zur Effizienz von Windenergieanlagen
 in Sachsen (LfUG, 2004, unveröffentlicht).
- /17/ Eggersgluß, Walter:
 Windenergie XX; Praxisergebnisse 2007
 Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
- /18/ Hirsch, W.; Rindelhardt, U.; Brüinig, D.:
 Materialien zum Klimaschutz, 1/1997
 Windenergienutzung im Freistaat Sachsen Windpotentiale in Sachsen;
 Abschlussbericht.
- /19/ Schlegel, Hans-Jürgen:
 Studie „Fortschreibung des Windkraftziels im Landesentwicklungsplan
 Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG)
 Dresden, Juli 2008 (unveröffentlicht).
- /20/ Carrer Le, Olivier:
 Wind & Wetter
 Knesebeck GmbH & Co. Verlags KG, München, 2008.
- /21/ Bürke, Thomas; Wengenmayr, Roland:
 Erneuerbare Energie
 Alternative Energiekonzepte für die Zukunft
 WILEY-VCH Verlag, Weinheim, 2007.
- /22/ Petermann, Jürgen; et. al.:
 Sichere Energie im 21. Jahrhundert
 Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg, 2008.
- /23/ Schneider, Sven; et. al.
 Expertise zur Nutzung erneuerbarer Energien in Sachsen – Endbericht
 Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE), Leipzig, Juni 2003.
- /24/ Kaltschmitt, M.; Wiese, A.; Streicher, W.:
 Erneuerbare Energien
 Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte
 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 3. Auflage 2003.
- /25/ Investitionen für die Zukunft
 Der Neubaublock Boxberg BoxR
 Vattenvall Europe Generation AG % Co. KG, Cottbus.
- /26/ Boschnakow, Ivan:
 Sonnenenergie – Eine Alternative?
 VEB Verlag Technik, Berlin, 1982.
- /27/ Haselhuhn, Ralf; Hartmann, Uwe:
 Leitfaden Photovoltaische Anlagen
 VWEW Energieverlag GmbH.
- /28/ Marx, Martina; et. al.:
 Energie für die Zukunft
 Sachsens Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen/Biomasse
 Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL)
 Dresden, November 2007.

- /29/ Rindelhardt, Udo:
Wasserkraftnutzung in Ostdeutschland
Wasserwirtschaft, H. 6, 2007.
- /30/ Kosel, H.-S.:
Die Renaissance der Wasserkraft in Sachsen, 1995.
- /31/ Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe:
Quer-Bauwerke und Fischaufstiegshilfen in Gewässern 1. Ordnung
des deutschen Elbeeinzugsgebietes, 2002.
- /32/ Ausgewählte meteorologische Daten in der Euroregion Neiße ...,
www.neisse-nisa-nysa.org/fileadmin/documents/intern/statistics/03_07_2003.pdf.
- /33/ Schlegel, Hans-Jürgen:
LfUG 2008.
- /34/ Sächsischer Landtag,
Drucksache 4/1859 2005.
- /35/ nach Angaben LfUG, Wasserkraftverband, eigene Recherchen
- /36/ Vattenfall 2007
Pflichtveröffentlichung EEG-Einspeiser.
- /37/ www.smul.sachsen.de/Wehre/
- /38/ Deutsche Umwelthilfe:
Lebendige Flüsse & Kleine Wasserkraft – Konflikt ohne Lösung?
Deutsche Umwelthilfe, Berlin, 2006.
- /39/ Nagl, G.:
Bund Naturschutz zitiert in /38/ .
- /40/ Uhlitzsch, C.:
Vizepräsident im Verband Deutscher Sportfischer in /38/.
- /41/ Lüttke, M.:
AG Wasserkraftwerke Baden-Württemberg e.V. in /38/.
- /42/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Umweltgesetzbuch (UGB) Gesetzentwurf 2008.
- /43/ Durchgängigkeit von Querbauwerken
http://www.umwelt.sachsen.de/lfug/wasser_8007.html.
- /44/ Ripl, W.:
Studie zur ökologischen Bewertung von kleinen Wasserkraftanlagen, 2004.
- /45/ Anzahl der Querbauwerke im Freistaat Sachsen, 2006
http://www.umwelt.sachsen.de/lfug/wasser_7692.html.
- /46/ BMU: Erneuerbare Energien 2007, Sachstand 2008
www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/sachstand_juni08.pdf.
- /47/ Levermann, Eva-Maria:
zitiert in: Goethe-Institut, Online-Redaktion, 2005
<http://www.goethe.de/ges/umw/thm/sws/de734039.htm>.
- /48/ Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit (SMWA)
Energieprogramm Sachsen, Entwurf 2007.
- /49/ Behrendt, S.; Rupp, J.
Perspektiven der Holzmobilisierung zur Stärkung nachhaltiger Zukunftsmärkte der
Forst- und Holzwirtschaft. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
(IZT). Berlin, 2006.
- /50/ Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2002:
Die Bundeswaldinventur II <http://www.bundeswaldinventur.de> .

- /51/ Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL)
Das potentielle Rohholzaufkommen 2003 bis 2042. Tabellen und Methode, Bonn,
2006 a.
- /52/ Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL)
Das potentielle Rohholzaufkommen 2003 bis 2042. Das Wichtigste in Kürze, Bonn.
2006 b.
- /53/ Borchert, H.:
Holzaufkommensprognose für Bayern. Herausgegeben von der Bayerischen
Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 2005.
- /54/ Eisenhauer, D.R.:
Forstwirtschaft in Sachsen. Jahrestagung der deutschen bodenkundlichen
Gesellschaft. Dresden 02.- .09.09.2007, 2007.
- /55/ FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.:
Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergie-
Anlagen, 2000.
- /56/ Hagemann, H.; Wenzelides, M.; Schulte, A:
Abschlussbericht Mobilisierungsstrategien für Energieholz in NRW.
Internationales Institut für Wald und Holz NRW, Westfälische Wilhelms-Universität
Münster, 2006.
- /57/ Hartmann, Reisinger, et al:
Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen, 2007.
- /58/ IE - Institut für Energetik und Umwelt gGmbH:
Wärmegewinnung aus Biomasse. Anlagenband zum Abschlussbericht Energie-
verbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel und
Dienstleistungen (GHD), Leipzig, 2004.
- /59/ IE - Institut für Energetik und Umwelt gGmbH :
Eigene Erhebung – Stand: 2007.
- /60/ Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.:
Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren.
Springer-Verlag, Berlin, 2001.
- /61/ Kiesewalter, S.,
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): Pelletsproduktion aus halm-
gutartiger Biomasse, 2006.
- /62/ Knappe, et al:
Stoffstrommanagement von Bioabfällen mit dem Ziel der Optimierung der
Verwertung organischer Abfälle, Forschungsbericht 205 33 313, 2007.
- /63/ Kramer, M.; Möller, L.:
Struktur- und Marktanalyse des Clusters »Forst&Holz« im Freistaat Sachsen und in
ausgewählten Regionen des niederschlesischen und nord-böhmischen Grenz-
raums unter den Bedingungen der EU-Erweiterung (Cluster-Studie).
Internationales Hochschulinstitut Zittau (IHI), Zittau, 2006.
- /64/ Leible, L.; Arlt, A.; Fürniß, B.; et al.:
Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft: Energie aus
biogenen Rest- und Abfallstoffen; Bereitstellung und energetische Nutzung
organischer Rest- und Abfallstoffe sowie Nebenprodukte als Einkommens-
alternative für Land- und Forstwirtschaft; Möglichkeiten, Chancen und Ziele,
2003.

- /65/ Mantau, U.:
Kampf um den Rohstoff Holz trotz riesiger Potenziale?
AFZ-Der Wald 61(3): 111-113, 2006.
- /66/ Mantau, U.:
Holzrohstoffbilanz Deutschland. Hamburg, 2004.
- /67/ Rösch, Ch; et al:
Perspektiven einer nachhaltigen Gründlandnutzung zur Energieerzeugung, 2006.
- /69/ Grunert, M.:
Eigene Berechnungen,
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), (2007).
- /70/ Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL):
Förderung von Anbau und Verwertung nachwachsender Rohstoffe im Freistaat Sachsen, 2006.
- /71/ Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL):
Landwirtschaftliche Biomasse – Potenziale an Biomasse aus der Landwirtschaft des Freistaates Sachsen zur stofflich-energetischen Nutzung, 2006.
- /72/ Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG):
Stand der Nutzung und Zielstellung Erneuerbarer Energien im Freistaat Sachsen (erzeugter Strom und erzeugte Wärme), 2007.
- /73/ Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL):
Bio-Energie für Sachsen – Konzept zum Ausbau der energetischen Nutzung von Biomasse, 2004.
- /74/ Schurr, C.:
Vor dem Wald kommt der Mensch – Nutzungsmotive privater Waldbesitzer.
Forst und Holz 62 (119), S. 28-35, 2007.
- /75/ Weber, N.; et al:
Rohholzaufkommensstudie Sachsen. Studie zum realistisch zusätzlich mobilisierbaren Rohholzpotential bis 2020 für den Freistaat Sachsen auf Basis der Ermittlung des tatsächlichen Rohholzaufkommens von 2002 bis 2006 sowie zu den Mobilisierungshemmnissen. Tharandt, unveröffentlicht, 2008.
- /76/ Arit, Andreas:
Systemanalytischer Vergleich zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus biogenen Abfällen am Beispiel von kommunalen Klärschlamm, Bioabfall und Grünabfall. Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Fakultät für Maschinenbau der Universität Stuttgart, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH. Karlsruhe, 2006, unter: <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2003/arlt03a.pdf>
- /77/ BEE- Pressekonferenz:
Jahr der Rekorde- Erneuerbare Energien 2006, 04.Januar 2007, unter: <http://www.windenergie.de>
- /78/ Nitsch, J.; Pehnt, M.; Fishedick, M. u.a.:
Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energie in Deutschland, DLR Stuttgart, IFEU Heidelberg, WI Wuppertal, Forschungsvorhaben FKZ 901 41 803 im Auftrag des Bundesumweltministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) April 2004.
- /79/ Nitsch, J.; Pehnt, M.; Fishedick, M. u.a.:
Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Verbundprojekt gefördert vom BMU im Rahmen des ZIP, Projektträger FZ Jülich, Endbericht, Mai 2004.

- /80/ Nitsch, Joachim:
Leitstudie 2007 – Ausbaustrategie Erneuerbare Energien, Aktualisierung und Neubewertung bis 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050, Untersuchung im Auftrag des BMU, Februar 2007.
- /81/ BMU :
Daten des BMU auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare – Energien - Statistik (AGEE- Stat.): Entwicklung erneuerbarer Energien in Deutschland im Jahr 2007, Juni 2008.
- /82/ C.A.R.M.E.N.:
Umrechnungstabelle Viehbestand bzw. Fläche oder Substratanfall in installierte Leistung.
- /83/ Fachverband Biogas e. V.:
Biogas- das Multitalent für die Energiewende, Fakten im Kontext der Energiepolitik-Debatte, Freising, März 2006.
- /84/ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR):
Marktanalyse nachwachsender Rohstoffe, MEO Consulting Team Wiesbaden, Institut für Energetik, Leipzig, Faserinstitut Bremen, Gülzow 2006.
- /85/ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR):
Handreichung Biogasgewinnung- und -nutzung.
3. überarbeitete Auflage, Gülzow, 2006.
- /86/ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR):
Studie: Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz, 2. Auflage, Leipzig, 2006.
- /87/ Thrän, Daniela; Zeddies, Jürgen; Thoroe, Carsten; Fritsche, Uwe u. a.:
Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext, Untersuchung im Auftrag des BMU; Institut für Energetik (IE) Leipzig, Universität Hohenheim, Stuttgart, BFH Hamburg, Öko-Institut Darmstadt, November 2005.
- /88/ Institut für Energetik und Umwelt e. G.:
Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse, Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW, Band 2: Biomassepotenziale in Deutschland, Nutzungstechniken und ökonomisch-ökologische Bewertung ausgewählter Nutzungspfade, Leipzig 2006.
- /89/ Krewitt, Wolfram; Schломann, Barbara:
Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern. Gutachten für das BMU, DLR Stuttgart, ISI Karlsruhe, März 2006.
- /90/ Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.;
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.(FNR):
Faustzahlen Biogas. Gülzow 2007.
- /91/ Leible, Ludwig; Kälber, Stefan u. a. (Hrsg.):
Biogene Kraftstoffe - Kraftstoffe der Zukunft?,
Zeitschrift: Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis,
Themenschwerpunkt 1/2006, ITAS Karlsruhe, April 2006.
- /92/ Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL):
Erfassung des Potentials an land- und forstwirtschaftlicher Biomasse zur stofflich-energetischen Nutzung für unterschiedliche Verwaltungseinheiten des Freistaates Sachsen. Schriftenreihe der sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 2, 5. Jg. 2000.
- /93/ Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL):
Erzeugerpreisbericht 2007 für ländliche Produkte im Freistaat Sachsen, Dresden 2008.

- /94/ Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft (LfL):
Energetische Verwertung von Biomasse und Biogas, Dresden, 2008.
- /95/ Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen (LfUG):
Siedlungsabfallbilanz des Freistaates Sachsen 2007, Dresden August 2008.
- /96/ Nitsch, Joachim:
„Leitstudie 2008“, Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbarer Energien“
vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europa,
Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit, 2008.
- /97/ Schöne, Florian:
Biomasseanbau: Schlussfolgerungen und Forderungen aus Sicht des NABU,
März 2007.
- /98/ Sachverständigenrat für Umweltfragen:
Klimaschutz durch Biomasse, Hausdruck des Sondergutachtens,
Berlin Juli 2007.
- /99/ Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (StaLA):
Abfallentsorgung in Sachsen 2007, Kamenz, 2007.
- /100/ Verein zur Förderung der Nutzung Erneuerbarer Energien e. V. (VEE):
Bioenergienutzung in Sachsen, Teil 1: feste Biomasse,
Studie im Auftrag von Green City Energy GmbH München, Dresden, 2007.
- /101/ Verein zur Förderung der Nutzung Erneuerbarer Energien e. V. (VEE):
Bioenergienutzung in Sachsen, Teil 2: Biogas, Studie im Auftrag von Green City
Energy GmbH München, Dresden 2007.
- /102/ Verein zur Förderung der Nutzung Erneuerbarer Energien (VEE):
Analyse der Potenziale und technologischen Stärken der sächsischen Unter-
nehmen der Erneuerbaren-Energien-Industrien, Dresden 2008.
- /103/ Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz:
Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung, Empfehlungen an die Politik,
November 2007.
- /104/ Wuppertal Institut:
Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse, Untersuchung
im Auftrag von BGW und DVGW, Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolge-
rungen, Wuppertal 2006.
- /105/ Wuppertal Institut:
Potenziale erneuerbarer Energien und deren zukünftigen Beitrags zur Energiever-
sorgung, Beitrag zum HH2 Symposium, Hamburg Oktober 2006.
- /106/ Wuppertal Institut:
Nutzungskonkurrenz bei Biomasse, Auswirkung der verstärkten Nutzung von
Biomasse im Energiebereich auf die stoffliche Nutzung in der Biomasse verarbei-
tenden Industrie und deren Wettbewerbsfähigkeit auf staatlich induzierte Förder-
programme, Endbericht, April 2008.
- /107/ Zeddies, Jürgen:
Rohstoffverfügbarkeit für die Produktion von Biokraftstoffen in Deutschland und
der EU-25,
Universität Hohenheim Oktober 2006.
- /108/ Ziesing, Hans Joachim:
KWK- Potenziale in Deutschland und ihre Erschließung,
Energiewirtschaftliche Tagesfragen 8. Jg. (2008), S.50 – 59.
- /109/ <http://www.triesdorf.de/EBA/tierischesubstrate.htm>
- /110/ <http://www.statistik.sachsen.de>

Impressum

Herausgeber

Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Sächsischen Landtag

Bernhard-von-Lindenau-Platz 1
01067 Dresden

www.gruene-fraktion-sachsen.de

Kontakt

Johannes Lichdi
Energiepolitischer Sprecher

Parlamentarische Beratung
Michael Martens

Telefon: 0351 / 493 48 32
Telefax: 0351 / 493 48 09

E-Mail: michael.martens@slt.sachsen.de

Bezug

Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Sächsischen Landtag
Öffentlichkeitsarbeit

Bernhard-von-Lindenau-Platz 1
01067 Dresden

Telefon: 0351 / 493 48 00
Telefax: 0351 / 493 48 09

E-Mail: publikationen@gruene-fraktion-sachsen.de

V.i.S.d.P.

Andreas Jahnel

1. Auflage
Dezember 2008
gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

**WIR SIND
KLIMA!**

www.wir-sind-klima.de