



Grünes Energieszenario

Enkeltaugliche Energieversorgung für Niedersachsen

Sonne – Wind – Biomasse

Untersuchung im Auftrag von Bündnis 90/Die Grünen in Niedersachsen



**BÜNDNIS 90
DIE GRÜNEN**

IM LANDTAG NIEDERSACHSEN



Impressum

Fachliche Bearbeitung	Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt, Vienenburg
Szenario-Festlegung	Helmut Delle, Cord Fehsenfeld, Ewald Fiedler, Ulrike Fink von Rabenhorst, Cornelia Grote-Bichoel, Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt, Stefan Wenzel, Dr.-Ing. Valerie Wilms
Auftraggeber	Stefan Wenzel für die Niedersächsische Landtagsfraktion von Bündnis 90 / Die Grünen
Kontakt für Interessierte	Niedersächsische Landtagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen Hinrich-Wilhelm-Kopf-Platz 1, 30159 Hannover
Internet	http://bit.ly/energieszenario-niedersachsen
Grafische Gestaltung	Hans-Jürgen Müller-Alex, asieben gmbh
Abbildungen	Archiv (3), istockphoto.com (7), asieben (4)
ISBN	978-3-9813981-1-3
Redaktionsschluss	1. Februar 2011
Stand	März 2011

Zu welcher Einschätzung tendieren Sie?



„Die Zerstörung unserer Lebensgrundlagen ist aus wirtschaftlichen Gründen unverzichtbar. Ein Überleben der Menschheit können wir uns im Interesse des Wirtschaftswachstums nicht leisten.“¹

Bei Zustimmung dürfte Sie die weitere Lektüre kaum interessieren.

„Änderungen im Lebensstil sind unvermeidbar – entweder sie passieren, oder wir gestalten sie. Es bedarf eines grundlegenden Umdenkens. Der Paradigmenwechsel ist etwas sehr Spannendes: die Chance, an Lebensqualität zu gewinnen!“¹



*Willkommen im
Grünen Energieszenario Niedersachsen!*



1 Vorwort

Der Verzicht auf fossile und nukleare Energiequellen ist ohne Alternative, wenn wir die Erde als Lebensraum erhalten und atomare Kriege und Katastrophen wie in Tschernobyl und Fukushima verhindern wollen. Der Umbau der Weltenergieversorgung auf einhundert Prozent erneuerbare Energiequellen ist eine technische, soziale und gesellschaftspolitische Herausforderung ohne Beispiel, aber er ist machbar.

Die globale Umsetzung kann innerhalb von drei bis vier Jahrzehnten erfolgen. Viel schneller kann Deutschland auf Atomenergie verzichten. Im Frühjahr 2011 werden 12 von 17 deutschen Atomkraftwerken stillstehen. Der endgültige Abschied kann in wenigen Jahren organisiert werden ohne die Stromversorgung zu gefährden.

Das vorliegende Energie-Szenario beschreibt, wie das Land Niedersachsen künftig ohne Atomenergie und ohne fossile Brennstoffe mit einhundert Prozent erneuerbarer Energie versorgt werden kann und welche Maßnahmen notwendig sind, um dieses Ziel zu erreichen.

Das Szenario soll Diskussionen über alternative Handlungsschritte anregen und staatliche, kommunale und private Akteure zum Handeln ermutigen. Das Szenario kann mit der ebenfalls verfügbaren Software auf Landkreise und Gemeinden heruntergeladen werden. So können eigene Szenarien erstellt werden.

Das Szenario geht von einer bilanziellen Selbstversorgung in Niedersachsen aus, sieht aber den Austausch von Energie mit anderen Regionen vor, um zeitliche Engpässe zu überwinden und die Lastsicherheit beim Stromnetz jederzeit gewährleisten zu können. Das Szenario verzichtet auf einen

dauerhaften Nettoimport von Energie, berücksichtigt jedoch nicht den Ex- und Import von „grauer Energie“, die in Handelsprodukten enthalten ist. Diese Analyse bliebe einer weitergehenden wissenschaftlichen Arbeit vorbehalten.

Das Szenario stärkt regionale Wirtschaftskreisläufe und fördert die Entwicklung innovativer Technologie. Das Szenario sieht eine Reduzierung des Gesamtenergieverbrauchs auf gut die Hälfte des heutigen Verbrauchs vor. Diese Einsparungen erscheinen zunächst als große Herausforderung, sind aber in vielen Fällen schon heute eine Selbstverständlichkeit, wenn die effizienteste bereits verfügbare Technologie eingesetzt wird. Darüber hinaus fordert das Szenario mehr „Suffizienz“. Wir stellen damit einige Gewohnheiten des westlichen Lebensstils in Frage, sehen aber gleichzeitig einen Gewinn an Lebensqualität bei deutlich gesenktem Energieverbrauch.

Wir danken allen, die dieses Szenario mit Ideen, Kreativität und viel Zeit ermöglicht haben. Wir freuen uns über Diskussionsbeiträge und kritische Anregungen.

Stefan Wenzel
Fraktionsvorsitzender
Bündnis 90/Die Grünen

2 ➔ Inhalt

- 1 **Vorwort** – 4
- 2 **Inhalt** – 5
- 3 **Zusammenfassung** – 6
- 4 **Das Szenario im Überblick** – 11
- 5 **Energiebedarf** – 18
- 6 **Energieproduktion** – 20
 - 6.1 Solarenergie – 21
 - 6.2 Windenergie – 22
 - 6.3 Wasserkraft – 24
 - 6.4 Holz – 25
 - 6.5 Stroh und Bioabfall – 26
 - 6.6 Energie- und Ölpflanzen – 28
 - 6.7 Umgebungswärme – 31
 - 6.8 Tiefen-Geothermie – 32
- 7 **Energiebereitstellung** – 33
 - 7.1 Elektromobil - Brennstoffzelle – 33
 - 7.2 Elektromobil - Akkumulator – 34
 - 7.3 Prozesswärme aus Strom – 35
 - 7.4 Niedertemperaturwärme aus Strom – 35
- 8 **Energieverbrauch** – 36
 - 8.1 Anpassung Strom – 37
 - 8.1.1 Stromeinsparung – 37
 - 8.1.2 Lastsicherung – 38
 - 8.2 Anpassung Niedertemperaturwärme – 39
 - 8.3 Anpassung Prozesswärme – 40
 - 8.4 Anpassung Antriebe im Verkehr – 41
- 9 **Agenda 100%** – 42
 - 9.1 Umbau Strom – 42
 - 9.2 Umbau Raumwärme und Warmwasser – 44
 - 9.3 Umbau Prozesswärme – 44
 - 9.4 Umbau Verkehr – 45
 - 9.5 Forschung und Entwicklung – 46
- 10 **Endnoten** – 48
- 11 **Quellen** – 52
- 12 **Anhang** – 55





3 ➔ Zusammenfassung

Wie andere Studien dieser Art beruht auch das Grüne Energieszenario auf einer Vielzahl getroffener Annahmen, deren Eintreten zum Zeitpunkt der Erstellung als möglich oder sogar wahrscheinlich, aber nicht als gewiss anzusehen ist. Es liegt in der Natur solcher Szenarien, dass sich Erkenntnisstand und Einschätzungen ändern können, weswegen die Annahmen von Zeit zu Zeit einer Überprüfung und Neubewertung bedürfen. Seit dem Erscheinen des Grünen Energieszenarios 2007 hat sich tatsächlich einiges verändert, zwei Aspekte halten wir dabei für besonders bedeutsam:

- Die **Ölpreisexplosion von 2008** ist ein deutliches Zeichen, dass ‚Peakoil‘ bereits überschritten wurde; und auch das Fördermaximum beim Erdgas kommt in Sicht, wie beispielsweise die Studienergebnisse der Energy Watch Group zeigen: „Selbst wenn man optimistisch die offiziellen Angaben über Reserven zugrunde legt, dürfte die weltweite Gasförderung um das Jahr 2025 ihr Maximum erreichen.“² Selbst bei der Kohle, bislang als größte fossile Energiereserve mit weit über 100 Jahren Reichweite angesehen, zeichnet sich ein Rückgang der Fördermengen bereits ab Mitte des nächsten Jahrzehnts ab. Belege dafür liefern neben der Energy Watch Group zum Beispiel auch das Energieinstitut der EU³. Daraus wird deutlich, dass sich die Lage schon bald zuspitzen könnte und von diesen Energieträgern zur Jahrhundertmitte keine nennenswerten Beiträge mehr zu erwarten sind.
- **100%-Erneuerbare-Energie-Region** - eine Reihe von Kommunen und Landkreisen sind

inzwischen auf dem Weg dorthin. Die schnell wachsende Attraktivität dieses Ansatzes liegt in folgender Überlegung: Eine dauerhafte Energieversorgung wird zwangsläufig völlig ohne fossile und atomare Energien auskommen müssen. Die absehbar drastischen Rückgänge der Fördermengen, die ungelöste Atomüllfrage und die dramatische Entwicklung des Klimawandels machen einen schnellen Abschied von diesen Energieträgern unausweichlich. Dafür bleiben nur wenige Jahrzehnte. Diese Spanne ist zu kurz, um noch Zeit und Mittel mit ‚Brückentechnologien‘ zu verschwenden. Alle Kräfte müssen auf zukunftsweisende Lösungen konzentriert werden. Durch Vollversorgung aus heimischen Quellen besteht neben der Stärkung der regionalen Wirtschaft die historische Chance, die hochgradige Abhängigkeit von Importenergien zu überwinden, das damit verbundene Konfliktpotenzial zu verringern und die globale Gerechtigkeit zu stärken.

Das vorliegende Szenario zeigt anhand der zurzeit verfügbaren Daten, dass Niedersachsen sich selbst dauerhaft mit Strom, Wärme und Antriebsenergie aus erneuerbaren Quellen ausreichend versorgen kann. Dies würde die vollständige Befreiung aus der Abhängigkeit von Kohle, Erdöl, Erdgas und Uran bedeuten - Unabhängigkeit von endlichen Brennstoffvorräten also, die mit zunehmender Verknappung zwangsläufig immer teurer werden und die Wirtschaftskraft immer stärker belasten. Durch Selbstversorgung würde außerdem die gravierende Importabhängigkeit mit ihren zunehmenden Gefahren für Versorgungssicherheit und Weltfrieden überwunden.

Schließlich hätte die energiebedingte Zerstörung der Lebensgrundlagen ein Ende - die energiebedingten Treibhausgas-Emissionen beispielsweise würden auf nahezu Null sinken, ganz ohne weitere Klimaschutzmaßnahmen. Dies ist dringend notwendig, denn für das erklärte Ziel, die Erderwärmung auf maximal 2 Grad zu begrenzen, dürfen weltweit weniger als ein Viertel der nachgewiesenen Vorkommen fossiler Brennstoffe noch verbrannt werden⁴.

Dem Szenario liegt die Zielvorstellung einer bilanziellen Selbstversorgung zugrunde: Über den Zeitraum eines Jahres wird so viel Energie aus eigenen Quellen erzeugt, wie im Land verbraucht wird.

Im Gegensatz zum Ansatz einer autarken Energieversorgung ist aber der Austausch mit anderen Regionen zum Ausgleich momentaner Überschüsse oder Unterdeckung vorgesehen, beispielsweise durch einen Verbund mit Pumpspeicherkraftwerken in Norwegen zur Zwischenspeicherung von Offshore-Windstrom in windreichen Phasen, oder durch ein europäisches ‚Supergrid‘.

Um eine solche bilanzielle Selbstversorgung für Niedersachsen zu erreichen, muss das Energiesystem umgebaut werden⁵:

1. Die **heutige Stromnutzung** ist wenig effizient, es existiert nachweislich ein großes Einsparpotenzial bei Antrieben, Pumpen, Kühleinrichtungen, Beleuchtung, Informations- und Kommunikationstechnik. Die Energie, die heute für direkt mit Strom betriebene Raumheizungen und Warmwasserbereiter verwendet wird, kann künftig durch Solar- und Umgebungswärme ersetzt werden. Eine Verbrauchsminderung der herkömmlichen Stromanwendungen um 30%, unter weitgehender Beibehaltung der gewohnten Leistungen, kann auf diese Weise erreicht werden.
2. Für den **Ersatz fossiler Brennstoffe** im Verkehrsbereich, bei der Prozesswärmeerzeugung und für Gewinnung von Umgebungswärme mit elektrischen Wärmepumpen ist mit einem zusätzlichen Strombedarf zu rechnen, der gesamte Stromverbrauch könnte daher trotz Einsparungen beim Anderthalbfachen gegenüber heute liegen.
3. Eine tragende Säule der künftigen Stromversorgung ist die **Windenergie**. Die Energieproduktion kann durch drei Maßnahmen auf das fünffache gegenüber 2007 gesteigert werden und so knapp zwei Drittel des gesamten Strombedarfs decken: Windparks auf visuell und akustisch optimierten Vorrangflächen mit einem Anteil von insgesamt 1,6 Prozent an der gesamten Landesfläche (2007 waren es bereits 0,6 Prozent), Anlagenneubau und Repowering mit Turmhöhen von durchschnittlich 120 Metern, Teilhabe an der Nutzung des deutschen Offshore-Windenergiepotenzials, entsprechend dem Verhältnis der Einwohnerzahlen mit einem Zehntel Anteil. Dabei sind Potenziale von „kleiner Windkraft“ nicht berücksichtigt.
4. Als zweite tragende Säule kann mit **Photovoltaik** gut ein Drittel des Bedarfs gedeckt werden. Zum einen würden dafür sämtliche solar geeigneten Dachflächen genutzt, die nicht mit Solarwärme belegt sind. Zum anderen wären dafür geeignete Freiflächen wie Deponien oder überbaute Verkehrsflächen in einem Umfang zu nutzen, der noch einmal den solar geeigneten Dachflächen entspricht, das wären weniger als 0,28 Prozent der gesamten Landesfläche Niedersachsens. Die Erfassung der solar geeigneten Dachflächen entsprechend dem Modellprojekt „Sun-Area“ in Osnabrück kann mit geringen kommunalen Mitteln einen großen wirtschaftlichen Effekt erbringen. In diesem Szenario wurde nicht berücksichtigt, dass ein Teil des Solarstroms möglicherweise auch im Rahmen der Desertec-Initiative aus den nordafrikanischen Wüsten importiert werden könnte. Bedingung dafür wäre allerdings, dass vorab der Nachholbedarf bei der Stromversorgung der afrikanischen Bevölkerung befriedigt wird und die Umweltverträglichkeit und Ressourcen-Effizienz im Vergleich mit Photovoltaik in Deutschland gleich oder besser ist.
5. Mit **Biomasse** wie Holz oder Biogas betriebene Kraftwerke sollten ausschließlich als Reservekraftwerke für die Überbrückung von Mangelphasen verwendet und dafür entsprechend ausgelegt werden. Auf diese Weise sind die begrenzten Brennstoffpotenziale hauptsächlich dort verfügbar, wo sie schwer ersetzbar sind, zum Beispiel bei der Prozesswärmeerzeugung und im Luftverkehr. Wasserkraft

*Bilanzielle Selbstversorgung:
Energieproduktion aus
eigenen Quellen
entspricht dem Verbrauch
über ein Jahr*

spielt in Niedersachsen wegen der natürlichen Gegebenheiten auch bei Ausschöpfung der Potenziale eine insgesamt unbedeutende Rolle. Für Stromgewinnung aus Tiefengeothermie sind zurzeit keine realistischen Ansätze erkennbar, mit denen sich eine Nutzung in großem Maßstab über viele Jahrhunderte dauerhaft aufrecht erhalten ließe. Andere Möglichkeiten zur Stromerzeugung, wie zum Beispiel aus Wellen- oder Gezeitenenergie lassen aus heutiger Sicht keine nennenswerten technisch erschließbaren Potenziale erwarten.

Solarwärme im Sommer für den Winter speichern

6. Die **Angleichung** des stark schwankenden Windstrom- und Solarstromangebots an den momentanen Strombedarf erfolgt am besten durch verschiedene, sich ergänzende Maßnahmen: Saisonal ergänzen sich zu einem gewissen Grad Windstrom mit dem Schwerpunkt im

Winterhalbjahr und Solarstrom im Sommerhalbjahr.

7. Mit einem am Stromangebot orientierten **Lastmanagement** können Stromverbraucher ohne feste zeitliche Bindung in Zeiten mit Stromüberschuss gezielt aktiviert werden, dazu zählt die Erzeugung von Wasserstoff für den Verkehrssektor, die Gewinnung von Umgebungswärme mit Wärmepumpen oder auch die Verlagerung bestimmter energieaufwändiger Prozesse in Zeiten mit Überangebot.
8. Als **Stromspeicher** können Pumpspeicherkraftwerke genutzt werden, wegen mangelnder Speicherkapazitäten in Deutschland bleibt aber nur die Teilhabe an ausländischen Potenzialen, zum Beispiel in Norwegen. In Niedersachsen existieren zahlreiche unterirdische Kavernen für die Speicherung von Erdgas und Erdöl; diese werden mit dem Auslaufen der fossilen Energien frei und können unter Umständen zur Aufnahme von Energie in Form von Druckluft, Wasserstoff oder synthetischem Methan dienen. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass diese Potenziale nicht durch die ohnehin problematische, nicht zielführende CO₂-Einlagerung blockiert werden und von den Kavernen langfristig keine Gefahren für Sachwerte und Bevölkerung ausgehen.
9. Das **Stromleitungsnetz** muss entsprechend den veränderten Anforderungen um- und ausgebaut werden. Vorrangig sind Erdkabel zu verlegen. Durch ein neues europaweites Hochspannungsnetz (HGÜ-Netz) kann zusätzlich Regelenergie erschlossen werden, zum Beispiel durch die Verbindung mit Pumpspeicherkraftwerken in Norwegen. Die Realisierung des NorGer-Kabels ist für 2015 avisiert.
10. Durch **wirksame Wärmedämmung** der Gebäude nach dem Passivhaus- bzw. Niedrigenergiehaus-Standard können gut zwei Drittel des bisherigen Heizwärmebedarfs eingespart werden, bei gleichzeitiger Steigerung der Wohnqualität. Der verbleibende Bedarf an Raumwärme und Warmwasser kann zum größten Teil mit Solarwärme und mit Umgebungswärme aus oberflächennahen Bodenschichten über Wärmepumpen gedeckt werden. Energieberatungssysteme wie zum Beispiel der praxisbewährte Oldenburger Energiepass können den Fortschritt bei Energieeffizienz im Gebäudebereich fördern.
11. **Saison-Wärmespeicher** dienen der Aufnahme von Solarwärme im Sommer für die Wärmebereitstellung im Winter. Die Wärmepumpen speisen ebenfalls in Wärmespeicher ein und sind so ausgelegt, dass es ausreicht, sie in Starkwindphasen mit überschüssigem Strom zu betreiben.
12. Als technisch und wirtschaftlich vorteilhaft könnten sich **Wärmenetze mit integrierten Großspeichern** zur Versorgung ganzer Wohngebiete erweisen. Die Ausrüstung der Wohngebiete in Niedersachsen mit Wärmenetzen oder alternativ dazu mit Einzelspeichern muss zukünftig Standard werden. Regelungen analog dem Wärmegesetz in Baden-Württemberg sind auch in Niedersachsen zu schaffen.
13. Die **Abwärme** aus den mit Holz und Biogas betriebenen Reservekraftwerken wird über Kraft-Wärme-Koppelung ebenfalls in die Saisonspeicher eingespeist; da sie jedoch stromgeführt betrieben nur kurzzeitige Mangelphasen überbrücken, sind die Beiträge zum gesamten Jahreswärmeaufkommen gering.
14. Die Wärme der heute noch direkt mit Strom betriebenen **Raumheizungen und Warm-**

wasserbereiter kann künftig durch Solar- und Umgebungswärme aus dem Wärmenetz ersetzt werden. Der eingesparte Strom ist so für die Prozesswärmeerzeugung und für die Elektromobilität verfügbar.

15. Gut 70 Prozent des heutigen Bedarfs an **Prozesswärme** oberhalb 100°C für Industrie, Dienstleistungssektor und Haushalte können in Form von Biogas, Holz, Stroh und vor allem Strom bereit gestellt werden, ohne Übernutzung von Wald- und Anbauflächen.
16. Um die **Versorgung der Biogasanlagen** mit Energiepflanzen dauerhaft aufrecht erhalten zu können, muss der bislang konventionelle Anbau umgestellt werden auf ökologische Kreislaufwirtschaft, die ohne Zufuhr knapper Importstoffe, wie beispielsweise Phosphat, auskommt und die Bodenfruchtbarkeit auf lange Sicht erhält. Durch Umstellung der Gebäudeheizungen auf Solar- und Umgebungswärme und durch weitgehenden Verzicht auf die Verstromung oder Treibstoffumwandlung von Holz, Stroh und Biogas können diese Brennstoffe von den Flächen Niedersachsens in ausreichender Menge für die Prozesswärmegewinnung verfügbar gemacht werden. Ein weiterer Ausbau von Biomassekraftwerken oder BTL-Produktion (Biomass to Liquid) ist nicht zielführend.
17. Ein Teil der erforderlichen **Einsparungen bei der Prozesswärme** kann durch Effizienzsteigerung der Produktionsprozesse erreicht werden. Ein weiteres großes Einsparpotenzial liegt in einer längeren Nutzungsdauer und besseren Ausnutzung der produzierten Güter; es muss weniger hergestellt, gelagert und transportiert werden, verbunden mit einem niedrigeren Energiebedarf. Dies wird unter anderem möglich durch auf lange Nutzungsdauer ausgelegte Geräte mit auswechselbaren Verschleißteilen oder durch intelligente Lösungen gemeinschaftlicher Nutzung wie beim Carsharing.
18. Durch **Umstellung des Straßen- und Schienenverkehrs** auf elektrische Antriebe kann der Energiebedarf ab Batterie bzw. ab Fahrdraht im Vergleich zu heutigen Verbrennungsmotoren um mehr als zwei Drittel gesenkt werden. Dabei bleibt die individuelle Mobilität in der Fläche erhalten, die Schadstoffbelastungen entlang der Verkehrswege gehen

auf Werte nahe Null zurück und der Lärmpegel sinkt beträchtlich.

19. Die **Brennstoffe Biomethan und Pflanzenöl** - gekennzeichnet durch höchste Energiedichte, aber begrenzte Verfügbarkeit - können auf diese Weise zur beschränkten Fortführung des Luftverkehrs verwendet werden. Um Nutzungskonflikte mit der Nahrungsmittelproduktion zu vermeiden, kommt eine Ausweitung der Anbauflächen für Biokraftstoffe nicht in Betracht. Fahrzeugantriebe mit Verbrennungsmotoren haben keine Zukunft, alle Kräfte müssen auf die Weiterentwicklung der Elektro-Mobilität konzentriert werden.
20. Der überwiegende Teil der elektrischen **Antriebsenergie** wird über Fahrzeugakkus⁶ bereitgestellt, die einen hohen Wirkungsgrad aufweisen, aber durch ihr Gewicht in der Speicherkapazität begrenzt sind. Zur Überbrückung längerer Phasen mit geringem Stromangebot kann ein Teil der Antriebsenergie von Brennstoffzellen geliefert werden, wobei der Energieträger Wasserstoff durch Elektrolyse mit überschüssigem Wind- und Solarstrom erzeugt wird.
21. Durch teilweise **Verlagerung der Verkehrs- und Transportleistung** von der Straße auf die Schiene könnte der Bedarf an aufwändigen Akku- und Brennstoffzellen-Systemen vermindert werden. Für den Breitereinsatz taugliche Systeme werden innerhalb weniger Jahre zur Verfügung stehen, die Automobilindustrie arbeitet intensiv an der Weiterentwicklung von Fahrzeugakkus auf Basis der Lithium-Ionen-Technologie und der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technik. Tankstellen können mit Akku-Wechselstationen und Wasserstoff-Elektrolyse-Anlagen auf die Elektro-Mobilität umgerüstet werden, auch durch Ausrüstung von Parkplätzen mit Akku-Ladestationen wird die Umstellung wirksam lokal unterstützt.

*Biogas-Produktion
auf ökologische
Kreislaufwirtschaft
umstellen*

Es wurden nur solche Maßnahmen in das Szenario aufgenommen, für die nach Erreichen der Szenario-Ziele realistische Aussichten auf eine

langfristig wirtschaftliche Umsetzung bestehen. Aus zwei Gründen wurde aber auf eine durchgängige ökonomische Bewertung der Maßnahmen bewusst verzichtet: Zum einen wird der Niedergang der fossilen Energien aller Voraussicht nach fundamentalen Einfluss auf das globale Preis- und Kostengefüge haben, der aus heutiger Sicht nicht mit genügender Verlässlichkeit vorhersagbar ist. Zum anderen ist der Umbau zu einer zukunftsfähigen Energieversorgung keine Preisfrage, sondern eine Existenzfrage.

Das Szenario basiert auf der Annahme, dass die Zielsituation einer nachhaltigen, zukunftsfähigen Energieversorgung spätestens 2050 erreicht ist. Allerdings könnte sich angesichts von Ressourcenverknappung, Klimawandel, Umweltschäden und der globalen Ungleichverteilung die verbleibende Frist zum Umbau auf eine zukunftsfähige Energieversorgung als erheblich kürzer erweisen.

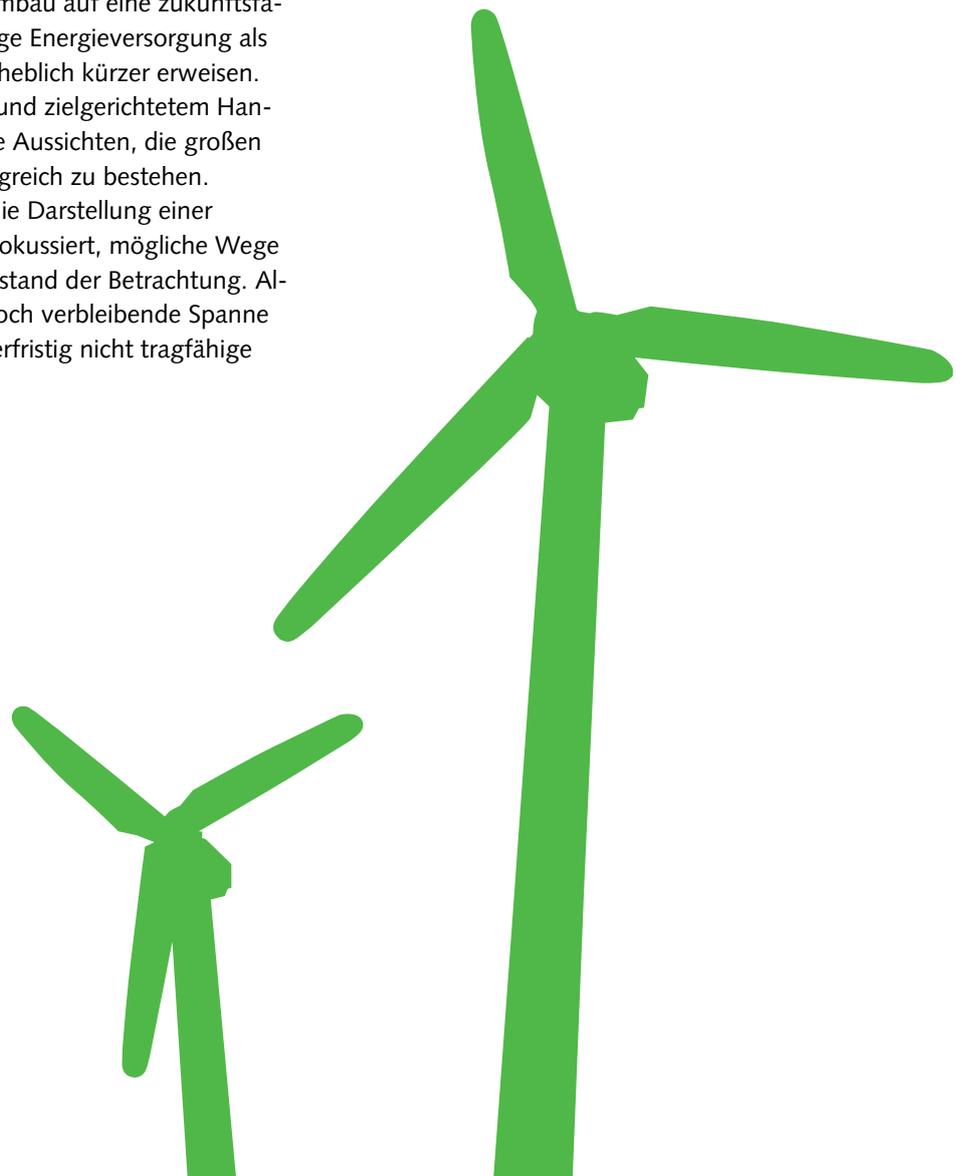
Nur bei entschlossenem und zielgerichtetem Handeln bestehen realistische Aussichten, die großen Herausforderungen erfolgreich zu bestehen.

Das Szenario ist auf die Darstellung einer denkbaren Zielsituation fokussiert, mögliche Wege dorthin sind nicht Gegenstand der Betrachtung. Allerdings lässt die kurze noch verbleibende Spanne kaum noch Zeit für längerfristig nicht tragfähige

Zwischenlösungen. Jeder Umweg, jede Verzögerung, würde die Erfolgsaussichten weiter reduzieren. Deshalb sollten nur solche Zwischenlösungen umgesetzt werden, die den notwendigen Umbau möglichst beschleunigen, aber keinesfalls bremsen. Als Positivbeispiele können Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge gelten, oder auch solche Bioenergiedörfer, die von vorn herein auf eine Weiterentwicklung zu Solarenergiedörfern angelegt sind.

Das Szenario basiert auf Annahmen zu den spätestens 2050 dauerhaft verfügbaren Technologien und Umweltbedingungen. Heute nicht absehbare Erkenntnisse aus Forschung und Wissenschaft könnten durchaus zusätzliche Potenziale eröffnen. Andererseits ist aber auch mit der Reduzierung sicher geglaubter Potenziale aufgrund unerwarteter Probleme zu rechnen, beispielsweise wegen der begrenzten Verfügbarkeit von wichtigen Rohstoffen wie Lithium.

*Umbau zur zukunftsfähigen
Energieversorgung –
keine Preis-, sondern eine
Existenzfrage*





4 ➔ Das Szenario im Überblick

Natürliche Energieströme bilden die Quellen für die Erneuerbaren Energien. Der Solarstrahlung kommt dabei die mit Abstand größte Bedeutung zu, entweder direkt oder mittelbar in Form von Windenergie, Wasserkraft, Biomasse, Umgebungswärme. Die natürlichen Energieströme treten grundsätzlich über die Erdoberfläche verteilt auf. Zur Gewinnung nutzbarer Energie müssen die Energieströme in der Fläche aufgefangen werden. Die Größe der dafür zur Verfügung stehenden Flächen ist entscheidend für die produzierbaren Energiemengen. Die zur Energiegewinnung relevanten Flächen Niedersach-

sens sind in **Tab. 1** dargestellt, jeweils mit dem Statuswert im Referenzjahr 2007 und dem Szenario-Zielwert, alle Angaben in Hektar [ha]. Gesetzte Werte sind violett gefärbt.

Im Szenario gegenüber dem Referenzjahr 2007 vorgesehene Änderungs-Ziele:

1. Sämtliche hinsichtlich Himmelsrichtung und Schattenfreiheit geeigneten Dachflächen werden zur solaren Wärme- und Stromgewinnung genutzt. Dazu kommt die Belegung von geeigneten Freiflächen (vorzugsweise Depo-

100%EE-Region		Land Niedersachsen (GES Nds 2.0)						Flächen						
Gesamtfläche Region	Nutzungsart (1. Ebene)	Status ha	%	Ziel ha	%	Veränderung ha	%	Nutzungsart (2. Ebene)	Status ha	%	Ziel ha	%	Veränderung ha	%
Land Niedersachsen 4.761.974	Gebäude-& Freiflächen	332.812	7,0	332.812	6,99	0	0,0	Solar-Dachflächen	542	0,2	13.312	4,0	+12771	2357,1
								Solar-Freiflächen	0	0,0	13.312	4,0	+13312	-
	Agrar-Flächen	2.897.943	60,9	2.897.943	60,9	0	0,0	Getreide (Stroh)	960.723	33,2	960.723	33,2	0	0,0
								Energie-Pflanzen	338.093	11,7	376.733	13,0	+38639	11,4
								Ölpflanzen (energetisch)	149.663	5,2	149.663	5,2	+0	0,0
								Sonstige ohne energetische Nutzung	1.449.463	50,0	1.410.824	48,7	-38.639	-2,7
	Wald	1.011.427	21,2	1.011.427	21,2	0	0,0	Forstwirtschaft	960.856	95,0	910.284	90,0	-50.571	-5,3
								Waldfl. ohne Nutzung	50.571	5,0	101.143	10,0	+50571	100,0
	Sonstige	519.792	10,9	519.792	10,9	0	0,0							
		Wasserkraft, Geothermie	4.761.974	100,0	4.761.974	100,0	0	0,0						
	Windpark-Fl. Onshore	29.589	0,6	76.192	1,60	+46602	157,5							
	Windpark-Fl. Offshore*	0	0,0	25.924	0,54	+25924	-							

*) Offshore-Flächenangabe als Onshore-Äquivalent (ha vermiedener Onshore-Fl.)

Szenario: Bündnis90/Die Grünen Nds./Wenzel u.a., Nds. 2010-11-26 19:31:5

100prosim 03.08 / Technologie 03.06 / Region 03.06

Tabelle 1: Flächen

Grünes Energieszenario für Niedersachsen – Das Szenario im Überblick

nien, überbaute Verkehrsflächen) noch einmal in derselben Größe. Insgesamt werden für Solaranlagen dann weit unter einem Prozent der Landesfläche beansprucht.

2. Die nur leichte Ausweitung des Energiepflanzen-Anbaus von 11,7 auf 13,0 Prozent der Agrarfläche trägt den Erfordernissen der vorrangigen Nahrungs- und Futterproduktion Rechnung.

3. Bei der Erweiterung der Onshore-Windparkflächen von 0,6 auf 1,6 Prozent der Landesfläche wurde die Einhaltung ausreichender Abstände zur Wohnbebauung und das Schutzbedürfnis sensibler Naturräume berücksichtigt. Zusätzlich ist vorgesehen, dass Niedersachsen Nutznießer von einem knappen Zehntel des voll ausgebauten deutschen Offshore-Potenzials ist, zur Erzeugung der selben Strommenge Onshore

100%EE-Region

Land Niedersachsen (GES Nds 2.0)

Energie

Quelle	Fläche ha *		Technologie	Nutz-Anteil %		Energieart	Energieertrag MWh/ha/a *		Energieprod. GW h/a *		Deckungsbeitrag (Ziel) % von 201245 GW h/a *			Wärme im Detail % von 201245 GW h/a *	
	Status	Ziel		Status	Ziel		Status	Ziel	Status	Ziel	Strom	Wärme	Antrieb	Niedertmp.	Prozess-
Solarstrahlung	542	26.625	Flachkollekt.	25,7	21	Wärme	3.431	3.431	478	19.182				9,5	
			Photovoltaik	74,3	79	Strom	1.123	1.243	452	26.146	13,0				
Wind	29.589	102.116	Windenerg.-Anlage	100	100	Strom	342	449	10.114	45.850	22,8				
Laufwasser	4.761.974	4.761.974	Wasserkraftwerk	66,6	100	Strom	0,1	0,1	233	350	0,2				
Holz	960.856	910.284	Ofen, Kessel	48,3	25	Wärme	12,1	15,1	5.616	3.438		1,7		1,7	
			Kraftwerk	14,8	5	Strom	4,1	7,1	584	322	0,2			0,2	
				Wärme	2,6	7,1	372	322		0,2					
Verflüssig.	0	0	Biofuel	10,1	11,1	0	0								
Stroh	960.723	960.723	Kessel	0	25	Wärme	12,1	15,1	0	3.628		1,8		1,8	
			Kraftwerk	0	0	Strom	4,0	7,0	0	0					
				Wärme	7,0	7,0	0	0							
Verflüssig.	0	0	Biofuel	10,1	11,1	0	0								
Energiepflanzen	338.093	376.733	Biogas direkt	0	50	Wärme	41,6	20,0	0	3.767		1,9		1,9	
			Biogas BHKW	100	45	Strom	12,5	7,0	4.219	1.187	0,6			0,8	
				Wärme	0,0	9,0	0	1.526		0,8					
Biogas komprimiert	0	5	Biogas	39,1	18,8	0	354			0,2					
Ölpflanzen	149.663	149.663	Ölmühle	179	100	Pflanzenöl	15,6	7,8	4.183	1.169		0,6			
			Ölmühle BHKW	35,8	0	Strom	4,7	2,7	251	0					
						Wärme	5,6	3,5	301	0					
Umgeb.-Wärme	332.812	332.812	Wärmepumpe	0,1	2	Wärme	1.500	1.357	297	9.033		4,5		4,5	
Geothermie	4.761.974	4.761.974	Direktnutz.	0	0	Wärme	0,7	0,7	0	0					
			Kraftwerk	0	0	Strom	0,1	0,1	0	0					
						Wärme	0,6	0,6	0	0					

35,5

Energieart	Energieangebot GW h/a *		Technologie	Nutz-Anteil %		Energieart	Wirkungsgrad %		Energieprod. GW h/a *		Deckungsbeitrag (Ziel) % von 201245 GW h/a *			Wärme im Detail % von 201245 GW h/a *	
	Status	Ziel		Status	Ziel		Status	Ziel	Status	Ziel	Strom	Wärme	Antrieb	Niedertmp.	Prozess-
Strom	15.754	71.475	Elektromobil Brennstoffz.	0,0	22	Wasserstoff >Strom	0	30	0	4.717	-7,8		2,3		
			Elektromobil Akkumulator	0,0	15,2	Elektr.Lad. >Strom	65	90	0	9.778	-5,4		4,9		
			Prozesswär. zusätzlich	0,0	21,6	Wärme	100	100	0	15.403	-7,7	7,7		7,7	
			Ersatz elektr. NT-Wärme	0,0	4	Wärme	100	100	0	2.859	**	1,4	-1,4		-1,4

Summe Deckungsbeiträge:	14,7	28,0	8,0
Abdeckungsgrad gesamt:	50,6		
Verbrauchsminderung:	49,4		

14,9	13,0
28,0	

*) Einheiten:

ha	Hektar	1 ha = 10.000 m ²
MWh	Megawattstunde	1 MWh = 1000 kWh
GWh	Gigawattstunde	1 GWh = 1 Mill. kWh
a	Jahr	

Strom	Wärme	Antrieb	
% vom jeweiligen Bedarf	20,8	49,7	29,5

% vom heutigen Gesamtbedarf **:

Abdeckungsgrad einzeln:	70,6	56,2	27,0
Verbrauchsminderung:	29,4	43,8	73,0

Wärme im Detail	
Niedertmp. - Prozess-	% vom jeweiligen Bedarf
31,3	18,5
47,8	70,6
52,2	29,4

** Ersatz elektr. NT-Wärme bewirkt um 1,4 % verminderten Strombedarf (urspr.22,2%) und erhöhten Wärmebedarf (urspr.48,3%).

Szenario: Bündnis90/Die Grünen Nds./Wenzel u. a., Nds. 2010-11-26 19:31:5

100prosim 03.08 / Technologie 03.06 / Region 03.06

Tabelle 2: Energie

müssten noch einmal 0,54% der Landesfläche beansprucht werden,

Bei allen anderen Flächen sind gravierende Änderungen nicht abzusehen, sie werden hier als konstant angenommen.

Neben der Auffangfläche hängt die gewinnbare Energiemenge von zwei weiteren Größen ab: Von der Intensität des Energiestroms und vom Wirkungsgrad der verwendeten Gewinnungs-Technologie. In diesem Szenario sind Intensität und Wirkungsgrad zusammengefasst zum ‚Energieertrag‘, damit können Betriebsdaten bestehender Anlagen als Referenz verwendet werden. Oft ist nur ein Teil der Bezugsfläche oder des Ertrags für die Energiegewinnung relevant, zur Berücksichtigung dieser Fälle dient der Parameter ‚Nutz-Anteil‘.

Die Potenzialberechnung erfolgt für alle Energiearten einheitlich:

$$\text{Fläche} * \text{Nutz-Anteil} * \text{Energieertrag} \\ \rightarrow \text{Energieproduktion}$$

Betrachtungszeitraum ist ein Jahr, die Energieerträge sind in Megawattstunden pro Hektar und Jahr [MWh/ha/a] angegeben, die Energieproduktion in Gigawattstunden pro Jahr [GWh/a]⁷.

Für die Bewertung der Szenario-Ergebnisse wird die Energieproduktion mit dem Endenergieverbrauch (auf Basis des pro-Kopf-Verbrauchs im Referenzjahr 2007) als Maßstab ins Verhältnis gesetzt⁸:

$$\text{Energieproduktion} / \text{Verbrauchsmaßstab}_{2007} \\ \rightarrow \text{Deckungsbeitrag}$$

Alle wesentlichen Werte im ‚Grünen Energieszenario Niedersachsen‘ sind in **Tabelle 2** dargestellt⁹.

Die Deckungsbeiträge für Strom, Wärme und Antriebsenergie werden jeweils in eigenen Spalten erfasst, so dass sich für jede Energieart die Summe des Deckungsgrades bilden lässt. Die Wärme wird wegen der unterschiedlichen Wertigkeit in den beiden rechten Spalten differenziert nach Niedertemperaturwärme (NT-Wärme) kleiner 100 Grad Celsius und Prozesswärme größer 100 Grad Celsius dargestellt.

Mit Antriebsenergie wird hier die für Motoren von Verkehrsmittel und Maschinen zum mobilen Einsatz bereitgestellte Energie bezeichnet. Die Energie für ortsfeste, netzgespeiste Antriebe ist nicht darin enthalten, sie wird unter der Energieart

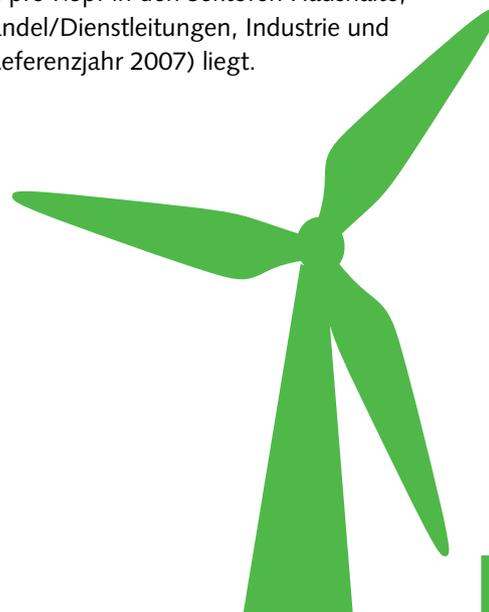
Strom erfasst. Betrachtet wird die an den Motor abgegebene Energie. Die Umwandlungsverluste bei der Stromspeicherung für Elektromobilität werden gesondert erfasst.

Dazu dient der untere Tabellenteil. Hier wird dargestellt, welche Teile des produzierten Stroms für heute noch nicht übliche, ‚unkonventionelle‘ Anwendungen abgezweigt werden. Dazu gehören die Elektromobilität mit Brennstoffzellen bzw. mit Akkumulatoren und der Ersatz fossiler Brennstoffe für die Prozesswärmegewinnung. Die Entnahme des Stromes schlägt jeweils mit einem negativen Deckungsbeitrag zu Buche, die Bereitstellung der gewünschten Energieart erfolgt mit dem spezifischen Umwandlungs-Wirkungsgrad. Die Summe der Deckungsbeiträge Strom erfasst somit nur die bereits heute üblichen, ‚konventionellen‘ Stromanwendungen.

Mit der untersten Zeile ‚Ersatz elektrischer NT-Wärme‘ wird berücksichtigt, dass die heute noch verbreitete Erzeugung von energetisch niederwertiger Raumwärme und Warmwasser mit Strom überwiegend abgelöst wird durch die Verwendung von Solar- und Umgebungswärme, was bei NT-Wärme mit einer Reduzierung des Deckungsbeitrags berücksichtigt wird. Um denselben Betrag erhöht sich die Verfügbarkeit von Strom für hochwertige Anwendungen.

Mit dem gewählten Ansatz ist in Niedersachsen eine Energieproduktion möglich, die bei rund 57 Prozent vom heutigen Verbrauchsniveau (Endenergieverbrauch pro Kopf in den Sektoren Haushalte, Gewerbe/Handel/Dienstleitungen, Industrie und Verkehr im Referenzjahr 2007) liegt.

*Mit erneuerbaren
Energien können
57 Prozent des heutigen
Verbrauchsniveaus
gedeckt werden*



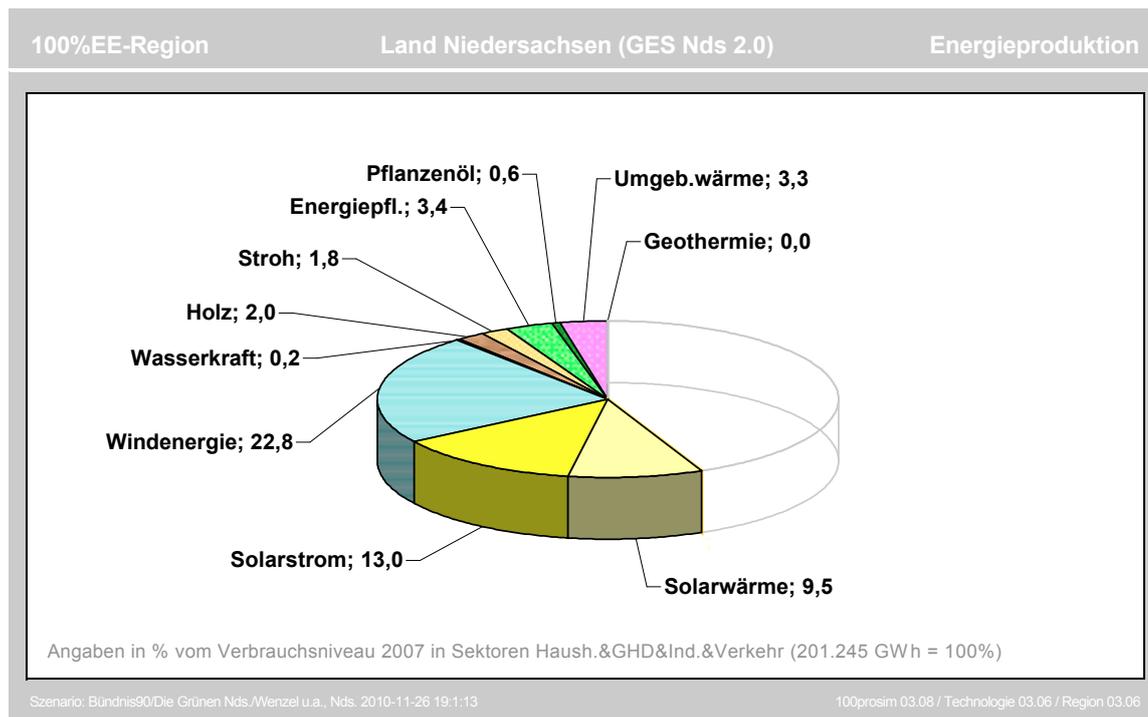


Abbildung 1: Energieproduktion

Die Beiträge der verschiedenen Quellen und Technologien zur Energieproduktion sind in **Abb. 1** dargestellt.

Die Windenergie liefert mit fast 23 Prozent den größten Beitrag. Noch einmal so viel kommt aus Solarenergie als Strom und Wärme. Biomasse und Umgebungswärme kommen zusammen auf etwa 11 Prozent. Wasserkraft bleibt auch nach

Ausschöpfen des technischen Potenzials marginal, Tiefen-Geothermie wird aus demselben Grund nicht eingeplant.

Der durch die Energieproduktion erreichte Energiemix weist eklatante Mängel auf, vor allem an Prozesswärme und an mobil verfügbarer Antriebsenergie. Zur ausgeglichenen Befriedigung aller zu

erbringenden Energiedienstleistungen wird daher ein Teil der produzierten elektrischen Energie zur Umwandlung in Prozesswärme und Antriebsenergie abgezweigt. Die daraus resultierende tatsächliche Energiebereitstellung¹⁰ aus den einzelnen Quellen bzw. Umwandlungen und die erforderliche Verbrauchsminderung (Stichwort ‚Negawatt‘ - die beste Energie ist die, die gar nicht erst verbraucht wird) zeigt **Abb. 2**.

*Negawatt statt
Megawatt
– die beste Energie
ist die, die nicht
verbraucht wird*

Gut 50 Prozent des heutigen Jahresverbrauchs an Strom, Wärme und Antriebsenergie können in diesem Szenario durch erneuerbare Energien tatsächlich gedeckt werden (siehe auch Tab. 2: Energie), dieser Wert liegt wegen der Bereitstellungsverluste niedriger als die Energieproduktion. Um das Ziel einer Vollversorgung aus heimischen Quellen zu erreichen, ist der Energieverbrauch zu halbieren. Dies kann weitgehend durch effizientere Energieverwendung erreicht werden, mit Wärmedämmung von Gebäuden nach Passivhaus-Standard beispielsweise, oder mit dem Übergang auf Elektroantriebe im Verkehrsbereich¹¹. Wegen der Begrenztheit der Bioenergie-Potenziale wird eine praktisch vollständige Umstellung der Landfahrzeuge auf elektrische Antriebe angenommen.

Ein detailliertes Bild von der Energiebereitstellung und -Verwendung vermittelt **Abb. 3** Energieverwendung:

Für die unterschiedlichen Energiearten Strom, Niedertemperaturwärme bis 100°C, Prozesswärme über 100°C und Antriebsenergie im Verkehrsbereich sind jeweils die heutige Situation und das Szenario-Ziel gegenübergestellt. Beim Strom wird zudem noch differenziert zwischen den Zielen für Produktion (2. Säule) und Verwendung (3. Säule), da zu den heute gebräuchlichen „konventionellen“ Stromanwendungen künftig neue Einsatzgebiete hinzukommen werden: Zwei Drittel des produzierten Stroms werden eingesetzt zum Betrieb der

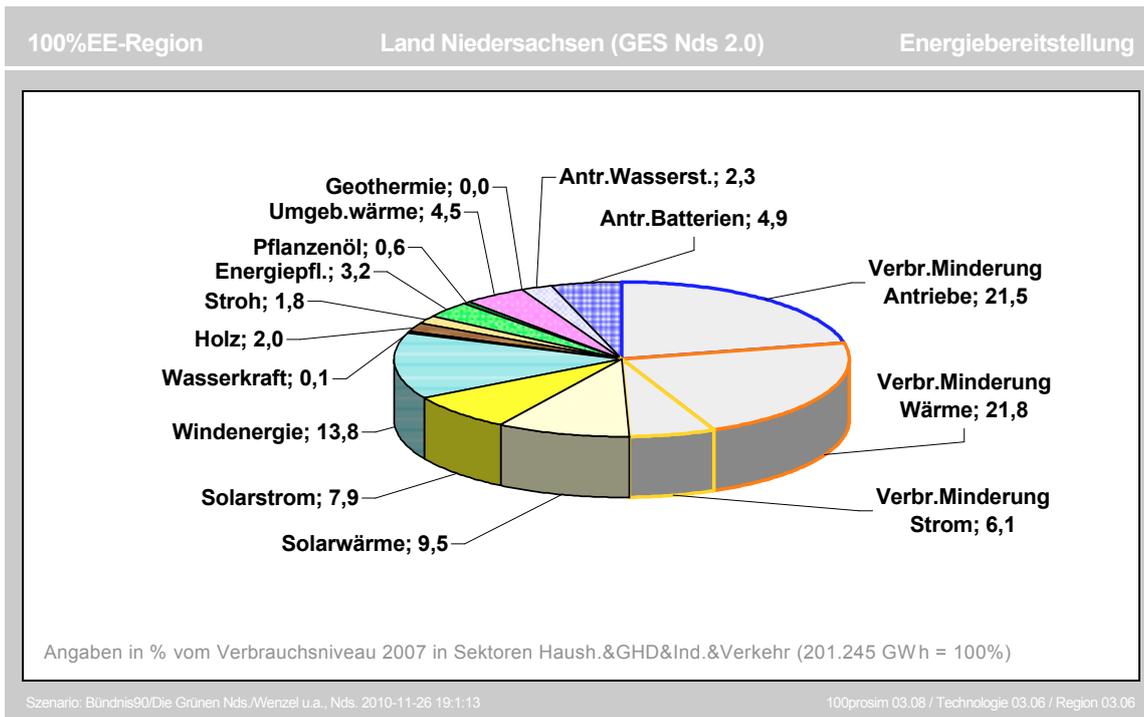


Abbildung 2: Energiebereitstellung

Wärmepumpen, zur Wasserstoffherzeugung und als Akku-Ladestrom für Elektromobile, zum Ersatz fossiler Brennstoffe für die Prozesswärmeerzeugung. Mit dem für die konventionellen Stromanwendungen verbleibenden knappen Drittel wird ein Deckungsgrad von gut 70 Prozent erreicht

(4. Säule). Die erforderliche Verbrauchsminderung kann weitgehend durch effiziente Stromnutzung erbracht werden.

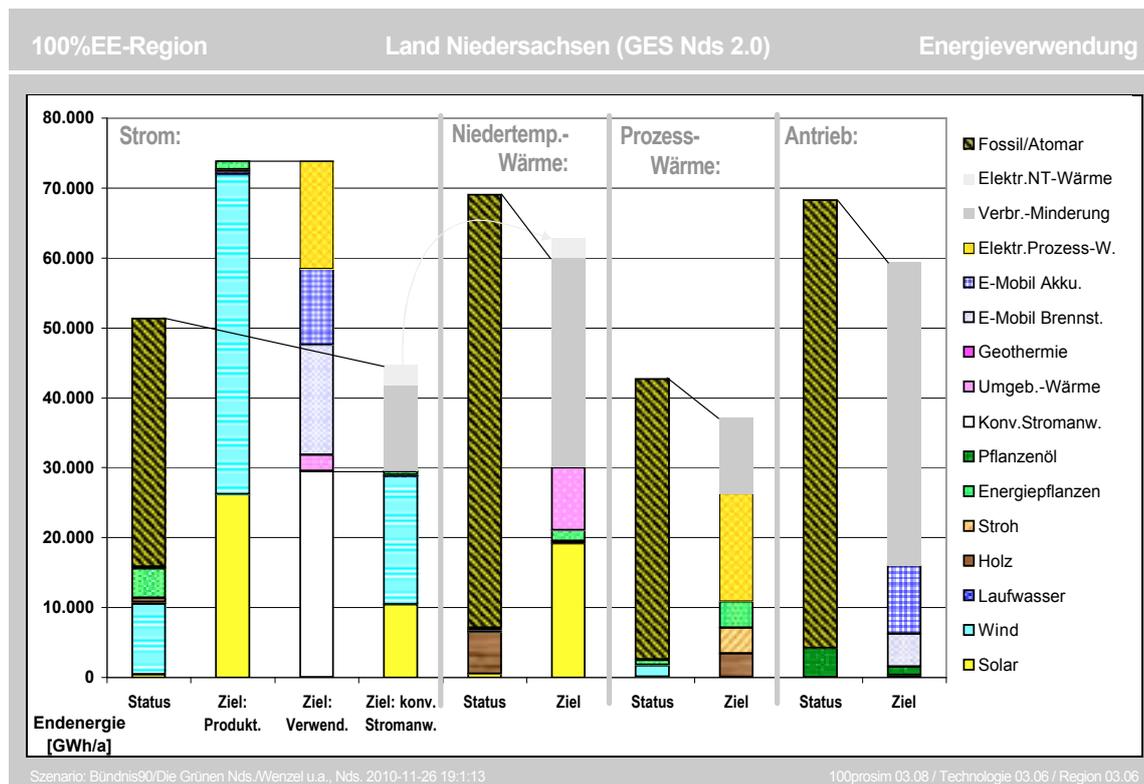


Abbildung 3: Energieverwendung

Fast zwei Drittel der Stromproduktion im Szenario stammen aus Windenergie, ein weiteres gutes Drittel aus Photovoltaik. Die Verstromung von Holz und Biogas in Reservekraftwerken liefert nur einen kleinen, aber wichtigen Beitrag zur Überbrückung ungewöhnlich angebotsschwacher Zeiten bei Wind und Solarstrahlung¹².

Trotz einer gegenüber heute ausgeweiteten Anbaufläche für Energiepflanzen muss mit einer geringeren Biogas- und Energieproduktion gerechnet werden, da sich die Erträge in einer dauerhaft aufrecht zu erhaltenden Landwirtschaft mit geschlossenen Kreisläufen etwa halbieren werden.

Im Interesse einer optimalen Nutzung wird die elektrische Erzeugung von Niedertemperaturwärme für Raumheizung und Warmwasserbereitung größtenteils durch Solarwärme ersetzt. Dadurch verringert sich der Maßstab für den Deckungsbeitrag beim Strom, während er sich bei der Niedertemperaturwärme um den gleichen Betrag erhöht (**Abbildung 3**).

Fast zwei Drittel der Niedertemperaturwärme für Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung werden aus Solarstrahlung mit Flachkollektoren gewonnen und knapp ein Drittel aus dem Erdreich mit Wärmepumpen. Saisonspeicher dienen zur Bereitstellung der im Sommer gewonnenen Solarwärme für die Gebäudeheizung in der kalten Jahreszeit. Auch die in Starkwindzeiten mit Wärmepumpen gewonnene überschüssige Umweltwärme wird von den Saisonspeichern aufgenommen. Die Abwärme aus der Verstromung von Holz und Biogas in Reservekraftwerken wird ebenfalls eingespeist, bringt aber wegen der kurzen Laufzeiten nur geringe Beiträge. Das Energieangebot reicht völlig aus für einen künftig energieeffizienten Gebäudebestand entsprechend Niedrigenergiehaus- bzw. Passivhausstandard.

Über die Hälfte der Prozesswärme wird mit Strom erbracht, der Rest durch Verbrennung von Holz, Stroh und Biogas in einem dauerhaft aufrecht zu erhaltenden Umfang. Beim Holz ist ein erheblicher Rückgang der heute energetisch genutzten Mengen berücksichtigt, weil auch in diesem Bereich die bestehende Importabhängigkeit auf Dauer nicht haltbar und andererseits ein wachsender Bedarf an Konstruktions- und Industrieholz abzusehen ist. Die erforderliche Verbrauchsminderung bei Prozesswärme kann weitgehend durch

Ausschöpfen der Effizienzpotenziale und Senkung des Güterdurchsatzes erreicht werden.

Für die Antriebe im Verkehrsbereich ist zum größten Teil Strom vorgesehen. Im Straßenverkehr als größtem Verbrauchssektor überwiegt die Speisung der Elektrofahrzeuge aus Fahrzeugbatterien. Trotz des wesentlich schlechteren Wirkungsgrades wird aber ein erheblicher Teil über Wasserstoffelektrolyse / Brennstoffzelle bereitgestellt, um größere Mengen an überschüssiger Energie aus Starkwindzeiten zwischenspeichern und so für energiearme Flauteperioden nutzbar zu machen.

Biomasse kann wegen der begrenzten Verfügbarkeit nur wenig zur Bereitstellung von Antriebsenergie beitragen. Da heute der Verbrauch von Pflanzenöl bzw. daraus erzeugtem Biodiesel in Niedersachsen die im Land erzeugte Menge weit übersteigt, ergibt schon die Beschränkung auf die Eigenproduktion einen starken Rückgang, trotz Beibehaltung der Anbaufläche. Darüber hinaus muss bei Ölsaat von einer Halbierung der Erträge durch Übergang auf dauerhaft aufrecht zu erhaltende Landwirtschaft mit geschlossenen Kreisläufen ausgegangen werden. Letzteres gilt auch für komprimiertes Methan, das durch Vergärung von Energiepflanzen und, in bescheidenerem Umfang, auch von Bioabfällen in Biogasanlagen erzeugt wird.

Im Interesse einer realistischen Sicht auf die künftigen Möglichkeiten wurden die Ziel-Ansätze in diesem Szenario meist eher konservativ gewählt. So wurden beispielsweise strenge Maßstäbe an Effizienzsteigerung durch technischen Fortschritt angelegt. Damit könnten sich einige Potenziale später tatsächlich als etwas größer erweisen, als veranschlagt.

Bei den meisten regenerativen Energiequellen kommt eine nennenswerte Ausweitung der Energieproduktion über die vorgestellten Szenario-Ansätze hinaus wegen der natürlichen Gegebenheiten und Nutzungskonkurrenzen kaum in Betracht. Es verbleiben aber zumindest zwei aussichtsreiche Möglichkeiten, die hier exemplarisch beleuchtet werden sollen:

1. Mit einer Verdoppelung der Solarwärme- und Solarstromgewinnung auf Freiflächen könnte der Gesamt-Abdeckungsgrad um zehn Prozent erhöht werden. Dafür wären lediglich weitere drei Promille der Landesfläche mit Solarflächen zu belegen, das dürfte ohne größere Nutzungskonflikte möglich sein.

Raumheizung und Warmwasserbereitung mit Solarwärme

2. Mit einer Ausweitung der Onshore-Windparkflächen von 1,6 auf 2,5 Prozent der Landesfläche ließe sich der Abdeckungsgrad nochmals um rund 8 Prozent steigern. Wichtigste Bedingung dafür wäre allerdings die Akzeptanz geringerer Abstände zur Wohnbebauung; andere Nutzungskonflikte sind kaum zu erwarten, die Landwirtschaft kann in den Windparks nahezu uneingeschränkt fortgeführt werden.
3. Die so erhöhte Energieproduktion könnte gut auch für den Export in benachbarte Ballungszentren und damit zur wirtschaftlichen Stärkung Niedersachsens genutzt werden. Mit dem Ansatz wäre ein Exportanteil von 27 Prozent¹³ ohne Abstriche beim Abdeckungsgrad möglich.

Der Demografische Wandel wird im Szenario zurückhaltend berücksichtigt, die Bevölkerungszahl und der damit verbundene Energieverbrauch als Maßstab für den Deckungsgrad wird mit einer Abnahme um 13 Prozent bis zum Jahr 2050 eingerechnet. Dies entspricht der durchschnittlichen für Deutschland prognostizierten Bevölkerungsentwicklung¹⁴. Die mit einer Abnahme um 16,8 Prozent deutlich höhere Prognose für das Land Niedersachsen wurde bewusst nicht angesetzt, da hier angesichts der vergleichsweise hohen Potenziale an erneuerbaren Energien mit steigender Wirtschaftskraft und in Folge mit einer Verlangsamung des Bevölkerungsrückgangs gerechnet werden kann.

Unberücksichtigt blieb das globale Bevölkerungswachstum und dessen mögliche Auswirkungen auf die gesellschaftlichen Verhältnisse in Deutschland, die bei künftig stärkeren Einwanderungsbewegungen möglicher-

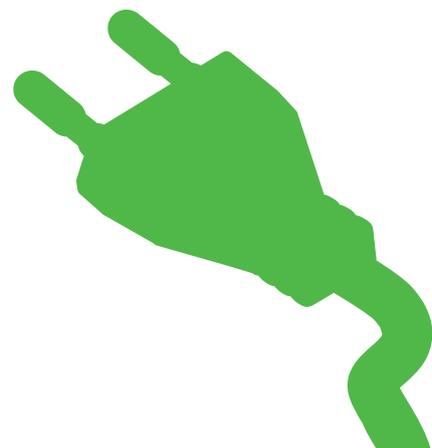
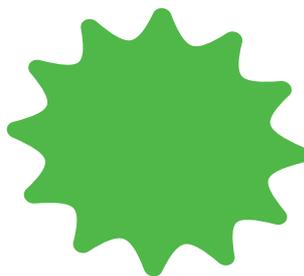
weise sogar zu einer Trendumkehr führen könnten, aber aus heutiger Sicht schwer einzuschätzen sind.

Aus demselben Grund wurde auch auf eine ökonomische Bewertung verzichtet. Die Frage lautet heute nicht mehr, *OB* sich der Übergang auf erneuerbare Energien rechnet, sondern *WIE* dieser unvermeidliche Übergang am Besten zu gestalten ist. Anstelle der heutigen Kostenverhältnisse erscheint eher die langfristige Verfügbarkeit der erforderlichen Baustoffe als ausschlaggebend für die Machbarkeit. Deshalb beruht dieses Szenario auf der Annahme, dass auch die Basistechnologien zur Energiegewinnung - Maschinenbau, Chemie, Elektronik, Landwirtschaft - durch Überführung in eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft dauerhaft aufrecht erhalten werden können.

Dieses Szenario ist auf eine von vielen denkbaren Varianten beschränkt, wie sich Niedersachsen dauerhaft zukunftsfähig mit Energie aus erneuerbaren Quellen versorgen könnte. Das verwendete Werkzeug ermöglicht das vergleichsweise einfache Durchspielen unterschiedlicher Ansätze und die Entwicklung eigener Varianten. Zu dem Zweck kann das hier vorgestellte, im Werkzeuge modellierte Szenario unter

<http://bit.ly/energieszenario-niedersachsen> abgerufen werden¹⁵.

*Online verfügbares
Werkzeug ermöglicht
Entwicklung eigener
Szenario-Varianten*





5 → Energiebedarf

Hauptziel einer zufrieden stellenden Energieversorgung ist es, die Energieproduktion mit dem Energiebedarf zur Deckung zu bringen. Somit ist der Energiebedarf prädestiniert als Maßstab für die anschauliche Bewertung der Szenario-Ergebnisse. Allerdings ist der Energiebedarf keine feste Größe, die künftige Entwicklung höchst ungewiss. Aus diesem Grund dient hier der tatsächliche Energie-

verbrauch im Referenzjahr 2007 als Vergleichsmaßstab. Aus dem Verhältnis von Energieproduktion zum Energieverbrauch 2007 ergibt sich der Deckungsbeitrag.

Da der Energiebedarf künftig zu einem Teil durch effizientere Energieverwendung und durch angepasste Wirtschafts- und Lebensweise befriedigt werden kann, wird auch die daraus resultierende Verbrauchsminderung auf den Vergleichsmaßstab bezogen. Um das Ziel einer 100%-Erneuerbare-Energie-Region Niedersachsen zu erreichen, werden in diesem Szenario die Deckungsbeiträge der verschiedenen erneuerbaren Energien ermittelt und angenommen, dass der an 100% fehlende Betrag durch Verbrauchsminderung zu erbringen ist¹⁶.

Da sich der tatsächliche Energiebedarf Niedersachsens beispielsweise durch Neuansiedlung oder Aufgabe von Schwerindustrie stark verän-

dern kann, werden in diesem Szenario deutsche Durchschnittswerte benutzt. Das kommt auch der Vergleichbarkeit mit Szenarien für andere Regionen zugute. Grundlage bildet der durchschnittliche Energieverbrauch pro Einwohner in den vier Sektoren Haushalt, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen, Industrie und Verkehr¹⁷.

Als Maßstab ideal wäre der Verbrauch von Nutzenergie, da dieser den tatsächlichen Bedarf an Energiedienstleistungen am besten widerspiegelt, ohne Verzerrungen durch wenig effiziente Technik. Da aber belastbare Statistik-Daten nicht ausreichend verfügbar sind, wird stattdessen die Endenergie heran gezogen.

Als Referenz für den Deckungsgrad dient der jährliche Energiebedarf in Niedersachsen im Jahr 2007. Dieser ergibt sich aus dem deutschen Pro-Kopf-Endenergieverbrauch von 2007, multipliziert mit der künftig zu erwartenden Einwohnerzahl Niedersachsens. Als Zeithorizont wird das Jahr 2050 angenommen, bis zu dem der Übergang auf 100% erneuerbare Energien weitgehend erfolgt sein müsste.

In der jüngsten Berechnung des statistischen Landesamtes wird für das Land Niedersachsen eine Bevölkerungsabnahme von 16,8 Prozent bis 2050 prognostiziert¹⁸. Vor dem Hintergrund vergleichsweise großer Potenziale an erneuerbaren Energien und damit verbundener Wirtschaftschancen erscheint diese, auf der Fortschreibung gegenwärtiger Trends basierende Berechnung allerdings sehr

*Mit erneuerbaren
Energien und
Verbrauchsminderung
zum 100%-Ziel*

hoch gegriffen. Daher wurde stattdessen auf die Prognose für Deutschland zurückgegriffen, die bis 2050 von einer Bevölkerungsabnahme um lediglich 13,0 Prozent ausgeht, entsprechend 6.933.000 EinwohnerInnen in Niedersachsen¹⁹. Die möglichen Einflüsse des globalen Bevölkerungsanstiegs und des unausweichlichen Übergangs auf erneuerbare Energien sind sehr vielfältig und aus heutiger Sicht kaum einschätzbar, sie blieben daher hier unberücksichtigt.

Der Endenergieverbrauch lag im Referenzjahr 2007 in Deutschland bei 29,0 MWh pro Kopf, 22,2 % davon entfielen auf Strom, 48,3 % auf Wärme und 29,5 % auf Treibstoff²⁰. Bei 7.971.684 EinwohnerInnen in Niedersachsen Ende 2007 ergibt sich daraus insgesamt ein Jahresenergieverbrauch von 231.395 GWh, der aufgrund der angesetzten Bevölkerungsabnahme bis 2050 auf 201.245 GWh zurückgehen würde, zusammengesetzt aus einem Energiemix von 44.641 GWh Strom, 97.234 GWh Wärme und 59.370 GWh Antriebsenergie. Diese Werte dienen im Szenario als Referenz zur Ermittlung der Deckungsbeiträge.

Der Wärmebedarf wird noch differenziert in Niedertemperaturwärme bis 100°C für Gebäude-

heizung / Warmwasserbereitung mit einem Anteil von 29,9 Prozent am gesamten Endenergieverbrauch und in höherwertige Prozesswärme über 100°C für die Herstellung von Gütern in der Industrie, im Dienstleistungssektor und in den Haushalten mit 18,5 Prozent²¹. Mit dem Ersatz der bislang elektrisch betriebenen Heizungen und Warmwasserbereiter durch Solar- und Umgebungswärme verringert sich der Maßstab für den Strombedarf um 1,4 auf 20,8 Prozent, während sich die Maßstäbe für Niedertemperaturwärme auf 31,3 und Wärme insgesamt auf 49,7 Prozent erhöhen²².

*Energieverbrauch der
Niedersachsen 2007
dient als Referenz
für die Deckungsbeiträge*





6 ➔ Energieproduktion

6.1 Solarenergie

Die Betriebsdaten einer großen Zahl bereits vorhandener Photovoltaik-Anlagen in Niedersachsen geben Aufschluss über das Angebot an Solarenergie: Mit jährlich 898 kWh pro kW Peak liegt es bei immerhin 86 Prozent der Erträge in der Bodensee-region²³.

Für solare Nutzung sind Dachflächen erste Wahl. Dafür sprechen die dezentrale, verbrauchernahe Energiegewinnung und die weitgehende Freiheit von Nutzungskonkurrenzen. Für das Land Niedersachsen sind flächendeckende Erhebungen dazu nicht bekannt, deshalb wird auf die Schätzung anhand einer Studie für den Landkreis Konstanz zurückgegriffen²⁴. Danach sind dort 256 Hektar an Dachflächen hinsichtlich Ausrichtung, Verschattung und baulicher Hindernisse für die solare Nutzung geeignet, das entspricht einem Anteil von 4,0 Prozent an der gesamten Gebäude- und Freifläche im Landkreis Konstanz²⁵.

Unter der Annahme, dass hinsichtlich Struktur und Dichte der Bebauung zwischen Niedersachsen und dem Landkreis Konstanz keine gravierenden Unterschiede bestehen, ist die Übernahme dieses Wertes zulässig. Bei 332.812 Hektar Gebäude- und Freiflächen im niedersächsischen Bestand²⁶ kann von insgesamt 13.312 Hektar solar geeigneter Dachfläche ausgegangen werden, konstante Verhältnisse vorausgesetzt.

Als Szenario-Ziel wird angenommen, dass zur vollen Nutzung der solar geeigneten Dachflächen noch einmal Freiflächen in derselben Größe hinzukommen, daraus ergibt sich eine Solarfläche von insgesamt 26.625 Hektar. Das entspricht einem Anteil von weniger als 0,6 Prozent an der Landesfläche und erscheint bei vorrangiger Belegung von ohnehin nur eingeschränkt nutzbaren Flächen wie Deponien oder überbauten Verkehrsflächen, durchaus vertretbar. Selbst bei teilweiser Verwendung von Agrarfläche würden sich die Nutzungskonkurrenzen mit einem Anteil von wenigen Promille der Landesfläche in vertretbarem Rahmen halten. Sollten bestimmte Dachflächen, zum Beispiel aus Gründen des Denkmalschutzes, nicht mit Solaranlagen belegt werden, lässt sich das andernorts durch eine geringfügige Ausweitung der Freiflächenanlagen oder Solarfassaden ausgleichen.

Die erforderlichen Photovoltaik-Flächen könnten durch Import von Solarstrom, beispielsweise im Rahmen der Desertec-Initiative aus den nordafrikanischen Wüsten, reduziert werden. Bedingung dafür wäre allerdings, dass vorab der Nachholbedarf bei der Stromversorgung der afrikanischen Bevölkerung befriedigt wird und dass Umweltverträglichkeit und Ressourcen-Effizienz im Vergleich mit Photovoltaik in Deutschland gleich oder besser ist. In diesem auf der Vorstellung einer bilanziellen Selbstversorgung basierenden Szenario wurde diese Möglichkeit jedoch nicht berücksichtigt.

Im Wesentlichen erfolgt die direkte Nutzung der Solarstrahlung in Niedersachsen heute einmal mit thermischen Flachkollektoren zur Wärme-gewinnung und zum anderen mit Photovoltaik-Modulen zur Stromproduktion, diese Technologien werden im folgenden näher betrachtet. Dass hierzulande Alternativen dazu eine nennenswerte Bedeutung erlangen könnten, erscheint wenig wahrscheinlich. Beispielsweise werden die für den Mittelmeerraum attraktiven 'Concentrating Solar Thermal Power Plants' (CSP) wegen einer zu geringen Sonnenstundenzahl in Norddeutschland wohl kaum sinnvoll anwendbar sein. Dagegen stellt die Gewinnung von Kälte direkt aus Solarenergie eine interessante Möglichkeit dar, die Verluste bei der Stromgewinnung zu umgehen; diese Technologie wurde im Rahmen des Szenarios allerdings nicht bewertet.

Zur heutigen Nutzung der Solarstrahlung liegen für Niedersachsen direkt keine Daten vor, zur Orientierung werden deshalb hier die deutschen Durchschnittswerte im Jahr 2007 herangezogen²⁷: Danach waren im Jahr 2007 erst 0,16 Prozent der Gebäude- und Freiflächen belegt, 25,7 Prozent davon mit Flachkollektoren für Wärme und 74,3 Prozent mit Photovoltaik für Strom.

Solarthermische Anlagen mit einer typischen energetischen Amortisationszeit von 10 Monaten und einem typischen Erntefaktor von 24²⁸ sind für ein 100% regeneratives Energiesystem sehr gut geeignet, weil sie in ihrer Lebensdauer wesentlich mehr Energie liefern, als für ihre Herstellung aufgewendet werden musste. Für Niedersachsen kann ein mittlerer jährlicher Energieertrag von 343 kWh pro Quadratmeter entsprechend 3.431 MWh pro Hektar angesetzt werden^{29,30}, wobei eventuelle Steigerungen durch technologische Fortschritte vorsichtshalber unberücksichtigt bleiben.

Dabei wird angenommen, dass das Nachfragepotenzial dem Angebotspotenzial entspricht und somit nichts von dem möglichen Ertrag verschenkt wird. Dies lässt sich durch entsprechend dimensionierte Saison-Wärmespeicher erreichen, wie sie beispielsweise im Rahmen des Energieforschungsprogramms 'Solarthermie 2000' vom Bundesforschungsministerium als Demonstrationsanlagen errichtet wurden. Die Energieverluste von Saisonspeichern und Nahwärmenetzen sind durch einen entsprechend erhöhten Energiebedarf berücksichtigt³¹.

Auch Photovoltaik-Anlagen mit einer typischen energetischen Amortisationszeit zwischen 15 und 55 Monaten (je nach Technologie) und einem typi-

schen Erntefaktor zwischen 20 und 5,5³² sind für ein 100% regeneratives Energiesystem gut brauchbar, sie liegen zwar erheblich hinter den Werten der Solarthermie zurück, liefern dafür aber die sehr hochwertige elektrische Energie. Die Photovoltaik mit einem spezifischen Jahresenergieertrag von 898 kWh pro kW Peak in Niedersachsen und einem spezifischen Flächenbedarf von 7,2 Quadratmeter Modulfläche pro kW Peak für moderne monokristalline Technik³³ lässt einen künftigen Jahresenergieertrag von mindestens 1.243 MWh pro Hektar erwarten. Der heutige Bestand weist wegen geringerer Wirkungsgrade noch einen etwas höheren Flächenbedarf von etwa 8 Quadratmeter pro kW Peak auf³⁴, daraus resultiert ein Jahresenergieertrag von 1.123 MWh pro Hektar.

*Dachflächen sind
erste Wahl für
solare Energie*

Als Ansatz zur künftigen Verwendung der geeigneten Dachflächen wurden 21 Prozent für Solarthermie und 79 Prozent für Photovoltaik gewählt. Für diesen Ansatz sprechen zum einen die Vorteile einer dezentralen, verbrauchsnahe Wärmebereitstellung für Gebäudeheizung und hervorragende Energieerträge der Solarthermie, zum anderen kommt das zeitliche Angebotsprofil der Photovoltaik einem ausgeglichenen Strommix zugute. Wegen der größeren Leitungsverluste beim Wärme- gegenüber dem Stromtransport sind auf Wohngebäuden thermische Solarkollektoren zu bevorzugen, während Photovoltaik-Anlagen sich eher für gewerbliche Gebäude ohne nennenswerte Wärmeabnahme und Freiflächen eignen.

Aus den Ziel-Ansätzen für die solar geeigneten Dachflächen in Niedersachsen, Nutzanteil und Energieertrag resultiert für die Wärme-gewinnung mit Flachkollektoren eine jährliche Wärmemenge von 19.182 GWh, bezogen auf den Bedarfs-Maßstab von 201.245 GWh ist das ein Deckungsanteil von 9,3 Prozent. Die Stromproduktion beläuft sich danach auf jährlich 26.146 GWh entsprechend 13,0 Prozent Deckungsanteil. Mit diesem Ansatz kann zum einen die Solarthermie den überwiegenden Teil der künftigen Wärmeversorgung übernehmen, zum anderen wird die Photovoltaik neben der Windenergie zu einer tragenden Säule der Stromversorgung. Wegen der großen Erträge dieser Technologien ließe sich die Produktion durch

Hinzunahme eines kleinen Teils weiterer Freiflächen bei Bedarf noch ausweiten. Hilfreich für eine nachhaltige Erschließung der solaren Potenziale wäre unter anderem die Schaffung entsprechender Saisonwärmespeicher-Kapazitäten oder auch die Umstellung auf ökologisch verträglichere Herstellungsverfahren für Photovoltaik-Module.

6.2 Windenergie

Für die Windenergienutzung bietet Niedersachsen hervorragende Möglichkeiten: Mit einer installierten Leistung von 5.597 MW lag das Land 2007 mit Abstand auf Platz 1 der Bundesländer³⁵. Bei der installierten Leistung bezogen auf die Landesfläche nehmen allerdings Bremen, Schleswig-Holstein und Sachsen-Anhalt die ersten Plätze ein, dies lässt auf ein erhebliches Ausbaupotenzial in Niedersachsen schließen.

Windenergie-Anlagen mit einer typischen energetischen Amortisationszeit von nur 5 Monaten und einem typischen Erntefaktor von 48³⁶ sind für ein 100% regeneratives Energiesystem hervor-

ragend geeignet, weil sie in ihrer Lebensdauer nahezu das Fünfzigfache der Energie liefern, die für ihre Herstellung aufgewendet werden muss.

Onshore

Als Referenz für die Ermittlung des Onshore-Potenzials dient der Landkreis Nienburg/Weser, für diese Wahl spricht Folgendes:

1. Es handelt sich um einen für Niedersachsen typischen Flachlandstandort mit durchschnittlichen Windverhältnissen.
2. Es existiert ein zukunftsweisender Entwurf zur Regionalen Raumordnungsplanung (RROP) für den Landkreis zum weiteren Ausbau der Windenergie³⁷.
3. Es liegt dazu eine Bewertung für den Kreisverband Bündnis90/Die Grünen vor, die auf Niedersachsen übertragbare Basis-Informationen enthält³⁸.

Bei der Festlegung der Vorranggebiete für die RROP wurden die unterschiedlichen Aspekte wie Lärm, Schattenwurf, Reflexion, Naturschutz,

Befeuerung oder Landschaftsbild sorgfältig gegen das Hauptziel Energiegewinnung abgewogen. Im Ergebnis haben die für Windparks vorgesehenen Flächen einen Anteil von 1,6 Prozent an der Landkreisläche³⁹. Auf Niedersachsen übertragen ergibt das ein Potenzial an Windparkflächen von 76.192 Hektar. Auch wenn der Landkreis Nienburg bezüglich Bevölkerungsdichte und Anteil geeigneter Flächen nicht repräsentativ für Niedersachsen ist, erscheint dieser Ansatz doch realistisch unter dem Blickwinkel, dass mit wachsender Bedeutung der heimischen regenerativen Quellen für Versorgungssicherheit und regionale Wirtschaftskraft auch die Akzeptanz in der Bevölkerung steigen wird.

Die Ertragsrechnung basiert auf den Betriebsdaten von fünf repräsentativen Windenergieanlagen an verschiedenen Standorten im Landkreis Nienburg, die mit einer mittleren Nabenhöhe von 68 Metern (+2 / -3) im Jahr 2007 pro Quadratmeter Rotorfläche 694 kWh Strom produzierten⁴⁰. Auf einer für das RROP repräsentativen Windparkfläche von 135,1 Hektar⁴¹ ließen sich unter Einhaltung der Mindestabstände 14 Anlagen mit je 82 Meter Rotordurchmesser und 2 MW Nennleistung, also insgesamt 28 MW unterbringen⁴², das entspricht einem Flächenbedarf von 4,8 Hektar pro MW. Für den heutigen Anlagenbestand mit einer typischen Nabenhöhe von 68 Metern ergibt sich aus Flächenbedarf und Jahresenergieertrag eine Volllaststundenzahl von 1.649, bei der Zielnabenhöhe von 120 Metern erhöht sich die Volllaststundenzahl auf 2.166. Die jährliche Energieproduktion der 14 Anlagen mit einer Gesamtrorfläche von 73.934 Quadratmetern und heute üblichen Nabenhöhen beträgt demnach rechnerisch 51.310 MWh. Mit einem angenommenen Parkwirkungsgrad von 90 Prozent ergibt sich daraus, konservativ gerechnet, eine jährliche Energieproduktion von 46.179 MWh entsprechend einem Jahresenergieertrag von 342 MWh pro Hektar Windparkfläche.

Welche Leistungsklasse beziehungsweise welchen Rotordurchmesser die eingesetzten Anlagen aufweisen, ist für den Energieertrag einer Windparkfläche praktisch wenig relevant, entscheidenden Einfluss hat dagegen die Nabenhöhe⁴³. Setzt man anstelle der Referenzanlagen mit 68 Metern Nabenhöhe 120-Meter-Türme nach dem Stand der Technik an, ist mit einer Ertragssteigerung um 31 Prozent auf 449 MWh pro Hektar zu rechnen⁴⁴.

Status der Windenergienutzung in Niedersachsen im Jahr 2007: 5.597 MW installierte Leistung, 10.114 GWh eingespeister Windstrom⁴⁵. Mit

Windanlagen liefern das Fünfzigfache der Energie, die zu ihrer Produktion aufgewendet werden muss

einem durchschnittlichen Jahresenergieertrag von 342 MWh pro Hektar wurde rechnerisch eine Windparkfläche von 29.589 Hektar entsprechend 0,62 Prozent der Landesfläche beansprucht. Die optische und akustische Wirkung des Anlagen-Bestandes dürfte allerdings einer erheblich größeren Fläche entsprechen, da die Bebauung bisher meist mit größeren Abständen als optimal oder sogar als Einzelanlagen erfolgte und die Belastungen sich somit auf weit größere Flächen erstrecken. Eine jüngere Studie zur Windenergie-Nutzung in den Landkreisen Niedersachsens lässt darauf schließen, dass die aktuell für Windenergie genutzte Fläche bereits nahezu 0,8 Prozent der Landesfläche beträgt⁴⁶.

Mit dem Zielansatz lassen sich Onshore künftig auf 76.192 Hektar Windparkflächen entsprechend 1,6 Prozent der Landesfläche Niedersachsens Windenergieanlagen mit einer Leistung von 15.791 MW installieren und bei einer durchschnittlichen Nabenhöhe von 120 Meter 34.210 GWh Windstrom jährlich gewinnen. Mit einer Flächenausweitung auf das 2,6-fache lässt sich also die 3,4-fache Windstromproduktion erreichen. Landkreise wie Aurich und Wittmund haben den Zielwert mit 2,35% bzw. 1,96% bereits deutlich überschritten, aber auch Kreise im Binnenland liegen schon weit über dem Schnitt, zum Beispiel Peine (1,56%), Diepholz (1,27%) oder Helmstedt (1,22%)⁴⁷.

Offshore

Über das Onshore-Potenzial hinaus bieten die deutschen Küstengewässer von Nord- und Ostsee erhebliche Offshore-Potenziale. Obwohl sich ein großer Teil davon vor der Küste Niedersachsens befindet, ist auch den Bundesländern ohne Küstenlinie ein angemessener Anteil am Offshore-Potenzial zuzubilligen; im Szenario wird folglich nur der dem Land Niedersachsen zustehende Anteil berücksichtigt. Zur Vereinheitlichung des Rechenganges wird die Äquivalenzfläche ermittelt, die erforderlich wäre, um die Offshore-Jahresenergieerzeugung Onshore zu erreichen. Aus der Summe von Onshore-Fläche und Offshore-Äquivalenzfläche kann so mit einem einheitlichen Energieertragswert das gesamte Windenergie-Potenzial ermittelt werden.

Etwa 20 Windparks mit einer gesamten installierten Leistung von 20.000 MW sind in deutschen Küstengewässern heute bereits genehmigt⁴⁸. Unter der Annahme von 3.000 Volllaststunden⁴⁹ lassen sich bei Vollausbau der bereits genehmigten Offshore-Windparks somit jährlich 60.000 GWh

Strom gewinnen. Das gesamte technische Angebotspotenzial deutscher Offshore-Windenergie wird mit jährlich 237.000 GWh angegeben⁵⁰. Auf dieser Grundlage wird hier konservativ ein Offshore-Angebotspotenzial in deutschen Küstengewässern von jährlich 120.000 GWh angenommen. Entsprechend einem Anteil von 9,7 Prozent an der Gesamtbevölkerung Deutschlands⁵¹ stehen Niedersachsen 11.635 GWh davon zu. Mit einem mittleren Onshore-Jahresenergieertrag von 449 MWh pro Hektar beträgt die Äquivalenzfläche für den niedersächsischen Offshore-Anteil 25.913 Hektar, das sind 0,54 Prozent der Landesfläche.

*Niedersachsen teilt
Offshore-Windenergie
mit den anderen
Bundesländern*

Onshore-Windparkfläche und Offshore-Äquivalenzfläche zusammen belaufen sich somit auf 102.116 Hektar, woraus eine jährliche Energieproduktion von 45.850 GWh und - bezogen auf den Bedarfsmaßstab von 201.245 GWh/a - ein Deckungsbeitrag von 22,8 Prozent resultiert.

Demnach wird Windenergie den mit Abstand größten Beitrag zur Stromversorgung liefern, einer zügigen und nachhaltigen Erschließung der Potenziale kommt also zentrale Bedeutung zu. Durch folgende Maßnahmen sollte dem Rechnung getragen werden:

1. Mindestens 1,6 Prozent der gesamten Landesfläche sollten für Onshore-Windparks in Niedersachsen vorgesehen werden. Von den Kommunen und Landkreisen sind die erforderlichen Flächen auszuweisen, am besten in Abstimmung zwischen den Gebietskörperschaften und den Betreibern der Bestandsanlagen, möglicherweise im Rahmen einer regionalen Raumordnungplanung.
2. Höhenbegrenzungen sollten möglichst ganz entfallen oder zumindest Nabenhöhen von 120 Metern ermöglichen. Es sollten keine pauschalen Abstandsempfehlungen zur Wohnbebauung gegeben sondern Einzelfallprüfungen vorgenommen werden; laut Immissionschutzrecht sind die Betreiber verpflichtet, möglichst leise Windenergieanlagen zu errichten. Zur Einhaltung der Regelungen bezüglich Schattenwurf können Einrichtungen zur zeitweiligen Abschaltung der Anlage eingesetzt werden.

3. Zur bestmöglichen Ausnutzung der Flächen sollten die Abstände der Windenergieanlagen im Park untereinander nicht größer sein, als zur Gewährleistung der Anlagenstandsicherheit erforderlich (zum Beispiel 5 Rotordurchmesser in Hauptwindrichtung und 3 Rotordurchmesser quer dazu).

4. Für die sinnvolle und möglichst effiziente Verwertung von nicht direkt nutzbarem Windstrom in Starkwindzeiten sind geeignete Technologien zu entwickeln und einzuführen (Intelligente Steuerung von Stromverbrauchern wie Kühleinrichtungen beispielsweise; Nachladen von

Wärmespeichern mit Wärmepumpen; Laden von Stromspeichern wie beispielsweise Speicherkraftwerke, Akkumulatoren, Druckluftspeicher, Wasserstoffspeicher; usw.), für Extremfälle sind die Windparks mit Steuerungen zur Leistungsdröselung auszurüsten.

5. Weiterentwicklung der Windenergieanlagen hinsichtlich Minimierung der Beeinträchtigungen wie Schallemissionen oder Befeuerung (gefordert wird die generelle Einführung der bedarfsgerechten Schaltung über Primärradar bzw. Transponder zur Begrenzung der Einschaltdauer auf relevante Flugbewegungen, als temporäre Maßnahmen kommen Abschattung nach unten und Leuchtstärkeregelung in Abhängigkeit von den Sichtverhältnissen in Frage).

6. Ersatz der veralteten Radarsysteme an Militärstandorten durch neue Systeme wie ASR-ES, bei denen nach Aussage von EADS kaum noch Störungen durch Windenergieanlagen auftreten; gegenwärtig werden durch die Störanfälligkeit der alten Systeme in Niedersachsen 600 MW Windleistung verhindert⁵².

7. Weiterentwicklung der Windenergieanlagen hinsichtlich umweltverträglicher Produktionsverfahren und Umstellung auf dauerhaft verfügbare Konstruktionsmaterialien (Türme aus Holz beispielsweise).

Auch die so genannte „kleine Windenergie“ mit Anlagenleistungen bis zu einigen 10 Kilowatt könnte sich in Gewerbegebieten, der Landwirt-

schaft und selbst in Wohngebieten möglicherweise zu einem nennenswerten Faktor entwickeln. Für eine Quantifizierung des Potenzials mangelt es zurzeit allerdings noch an belastbaren Daten.

6.3 Wasserkraft

Für Wasserkraft-Anlagen wird eine energetische Amortisationszeit von typisch 14 Monaten und, wegen der langen Nutzungsdauer, Erntefaktoren zwischen 40 und 200 angegeben⁵³, sie sind aus dieser Sicht für ein 100% regeneratives Energiesystem im Vergleich mit den übrigen Technologien mit Abstand am geeignetsten.

Das Energiepotenzial der niedersächsischen Wasserläufe, das so genannte Linienpotenzial, wird maßgeblich bestimmt durch Wassermenge und nutzbares Gefälle; die Wassermenge ist wiederum abhängig von den Niederschlagsmengen im Einzugsgebiet, das nur teilweise mit der Landesfläche zusammenfällt. Vom theoretischen Potenzial ist wegen ökologischer und infrastruktureller Restriktionen und wegen der Umwandlungsverluste bei der Energiegewinnung nur ein Teil wirklich nutzbar, im Folgenden wird dieses 'technische Potenzial' betrachtet.

Das Regelarbeitsvermögen der bestehenden Wasserkraftanlagen in Niedersachsen wird mit 233 GWh jährlich angegeben⁵⁴. Ausgehend davon wird das technische Potenzial, repräsentiert durch das technische Arbeitsvermögen, dort auf 350 GWh jährlich geschätzt, 66,6 Prozent davon sind bereits erschlossen. Mit einer Landesfläche von 4.761.974 Hektar⁵⁵ als Bezugsgröße ergibt sich für Niedersachsen ein durchschnittlicher Energieertrag von 0,073 MWh pro Hektar und Jahr.

Der Deckungsbeitrag könnte, gemessen am heutigen Gesamtenergiebedarf Niedersachsens von 231.395 GWh jährlich, von zurzeit 0,10 auf lediglich 0,15 Prozent gesteigert werden. Daraus wird deutlich, dass der Wasserkraft in Niedersachsen keine tragende Rolle wird zufallen können.

Trotz des kleinen Beitrages ist aber damit zu rechnen, dass die Wasserkraft zur Aufrechterhaltung einer Basis-Stromversorgung bei Energiemangel sogar noch etwas an Bedeutung gewinnt, da das Energieangebot im Unterschied zu Wind und Solarstrahlung relativ gleichmäßig ist. Interessant sind neue Ansätze zum Ausbau der „kleinen Wasserkraft“ mit Anlagenleistungen bis zu einigen 10 kW, wie zum Beispiel die Initiative für Wasserwirbelkraftwerke in der Schweiz, auch wenn dies keine deutliche Erhöhung des Potenzials verspricht.

Windenergie wird den größten Anteil zur Stromerzeugung beitragen

6.4 Holz

Eine 100%-Erneuerbare-Energie-Region Niedersachsen zeichnet sich dadurch aus, dass nicht mehr Holz genutzt wird, als auf der Landesfläche nachwächst. Das auf Dauer verfügbare Holzangebot ist somit durch den jährlichen Zuwachs begrenzt. In Niedersachsen beträgt der durchschnittliche Zuwachs pro Hektar Waldfläche 9,05 Festmeter in Laubbaumbeständen und 11,98 Festmeter in Nadelbaumbeständen⁵⁶. Mit einer mittleren Holzdichte von 0,53 Tonnen Trockenmasse pro Festmeter⁵⁷ entspricht das einem jährlichen Zuwachs von 4,81 Tonnen pro Hektar bei Laubbäumen, Nadelbäume mit einer Dichte von 0,39 Tonnen pro Festmeter kommen auf 4,71 Tonnen pro Hektar.

Im niedersächsischen Mischbestand aus Laub- und Nadelbäumen kann der mittlere jährliche Zuwachs mit 4,76 Tonnen pro Hektar angesetzt werden, das sind wegen ungünstigerer Wachstumsbedingungen nur 87 Prozent des deutschen Durchschnittswertes von 5,45 Tonnen pro Hektar⁵⁸.

Der Energieinhalt des jährlichen Zuwachses von einem Hektar Laubholzbestand in Niedersachsen beträgt durchschnittlich 19,96 MWh unter der Annahme, dass das Holz vor Verwendung ausreichend trocknen kann und einen Wassergehalt von 15 Prozent aufweist (lufttrocken), der Heizwert beträgt in diesem Fall 4,15 kWh pro kg Trockengewicht⁵⁹. Für Nadelholz mit einem Heizwert von 4,32 kWh pro kg ergibt sich ein jährlicher Energieinhalt von 20,33 MWh pro Hektar, Mischbestände kommen somit auf 20,15 MWh pro Hektar.

Bei einer niedersächsischen Waldfläche von heute 1,011 Millionen Hektar⁶⁰ beträgt der jährliche Zuwachs 4,81 Millionen Tonnen Trockenmasse; unter der Annahme von künftig 10 Prozent nicht forstwirtschaftlich genutzter Waldflächen (z. B. Schutzgebiete) verbleiben 4,33 Millionen Tonnen. Dabei wird von einer Verdoppelung der heutigen schätzungsweise 5 Prozent forstwirtschaftlich ungenutzten Waldflächen zugunsten der Ausweitung von Schutzgebieten ausgegangen. Außerdem wird angenommen, dass sich die Wachstumsbedingungen nicht gravierend verändern. Außerhalb der Forstflächen anfallendes Holz wie Landschaftspflegeholz bleibt in dieser Betrachtung wegen des vergleichsweise geringen Beitrags und mangelnder Daten unberücksichtigt.

Theoretisch wäre die gesamte auf der forstwirtschaftlich genutzten Fläche zuwachsende Holzmenge energetisch nutzbar, entweder als stofflich

schlecht verwertbares Schwachholz und Waldrestholz oder als bei der Holzverarbeitung abfallende Rückstände oder schließlich als Altholz aus nicht mehr benötigten Holzkonstruktionen. In der Praxis sind allerdings eine Reihe von Einschränkungen zu berücksichtigen:

1. Zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Artenvielfalt ist es notwendig, dass ein Teil der Holzmasse im Wald verbleibt.
2. Holz findet als Werkstoff vielseitige Verwendung, mit zunehmender Verknappung von Erdöl und Kohle wird es zum Ersatz von Kunststoffen noch weiter an Bedeutung gewinnen.
3. Altholz ist wegen mangelnder Trennbarkeit von Fremd- und Gefahrstoffen nur teilweise für die energetische Verwertung geeignet, außerdem dürfte die maximal erwartbare Rücklaufquote weit unter 100 Prozent liegen.
4. Einiges spricht dafür, der Produktion und langfristigen Nutzung von Holzprodukten und deren Export in waldärmere Länder für lange Zeit Vorrang vor der Verbrennung zu geben - beispielsweise die Notwendigkeit zur Ablösung von Kunststoff-basierten Produkten oder auch das möglichst lange Fernhalten des im Holz gebundenen Kohlenstoffs aus der Atmosphäre.

Als Anhaltspunkt sollen die für stoffliche Verwertung wenig geeigneten Teile der Holzernte wie Schwachholz und Waldrestholz dienen, die für energetische Nutzung prädestiniert sind: Sie wurden in einer Studie auf 28,4 Prozent des Zuwachses geschätzt⁶¹. Da ein Teil dieser Holzmasse im Wald verbleiben sollte und auf der anderen Seite Rückstände aus der Holzverarbeitung verwertbar sind, wird als mittelfristige Zielmarke angenommen, dass die energetische Nutzung von 30 Prozent des Zuwachses in niedersächsischen Forsten vertretbar ist.

Zum heutigen Stand der energetischen Holz-nutzung liegen für Niedersachsen direkt keine Daten vor, zur Orientierung sollen deshalb hier die Werte für Deutschland im Jahr 2007 zitiert werden⁶²: 48,3 Prozent des Zuwachses wurden allein für die Wärmebereitstellung verfeuert, zur Stromer-

*Wasserkraft wird nur
kleinen Beitrag liefern
– trotzdem wertvoll
durch gleichmäßiges
Angebot*

zeugung noch einmal 14,8 Prozent, insgesamt also 63,1 Prozent. Damit wird heute mehr als die doppelte Menge an Holz verfeuert, als es in Hinsicht auf eine dauerhaft zukunftsfähige Wirtschaftsweise angeraten erscheint.

In diesem Szenario ist vorgesehen, den Anteil am Zuwachs für Wärmenutzung auf 25 Prozent zurückzuführen und den Anteil für Stromerzeugung auf 5 Prozent. Wegen der Begrenztheit des Holzaufkommens und der Hochwertigkeit als Werk- und Baustoff wird auf den Einsatz zur Treibstoffgewinnung gänzlich verzichtet.

Holz als der älteste von Menschen genutzte Brennstoff ist gut speicherbar und kann vielfältig energetisch genutzt werden: Für die Erzeugung von Raum- und Prozesswärme mit Öfen und Kesseln, zur Stromgewinnung mit thermischen Kraftwerken oder zur Herstellung gasförmiger oder flüssiger Treibstoffe. Mit den verschiedenen Technologien wird die im Holz enthaltene Energie mit unterschiedlichen Wirkungsgraden umgewandelt. Im Folgenden für Niedersachsen die jährlich von einem Hektar Forst bei vollständiger energetischer Nutzung bereitstellbaren Energieerträge in MWh (in Klammern angesetzter Wirkungsgrad in Prozent⁶³):

1. Wärmeerzeugung mit Öfen und Kesseln: Status 12,1 (60); Ziel 15,1 (75).
- 1.1 Stromerzeugung mit Gas-/Dampfturbinen: Status 4,1 (20,5); Ziel 7,1 (35).
- 1.2 Genutzte Abwärme aus Verstromung: Status 2,6⁶⁴; Ziel 7,1 (35,0).
2. Treibstoffherzeugung durch thermochemische Verfahren: Status 10,1 (50); Ziel 11,1 (55).

Aus den Ziel-Ansätzen für die niedersächsischen Forstflächen, Nutzanteil und Energieertrag resultiert für die Wärmeerzeugung mit Öfen und Kesseln eine jährliche Wärmemenge von 3.438 GWh, bezogen auf den Bedarfs-Maßstab von 201.245 GWh ist das ein Deckungsanteil von 1,7 Prozent. Die Stromproduktion beläuft sich danach auf jährlich 322 GWh entsprechend 0,16 Prozent Deckungsanteil, dazu kommt eine genutzte Abwärmemenge von 322 GWh entsprechend 0,16 Prozent Deckungsanteil.

In der Jahresbilanz kann Holz somit nur einen kleinen Deckungsbeitrag liefern, durch die gute Speicherefähigkeit ist es aber prädestiniert für den Einsatz bei Energiemangel der Hauptquellen wie Windenergie, Solarwärmespeicher usw.

Investitionen in einen weiteren Zubau von Kapazitäten zur Wärme- und Stromerzeugung aus Holz sind nicht zielführend, vielmehr wird sich ein Rückbau auf langfristig mit Brennstoff zu versorgende Kapazitäten als erforderlich erweisen. Zukunftsfähig sind Investitionen in Holzenergie dagegen dann, wenn die gute Speicher- und Regelbarkeit im Zusammenspiel mit anderen Energiequellen zum Tragen kommt; zum Beispiel Holzheizkessel als Reserve bei nicht ausreichender Solarspeicherwärme.

6.5 Stroh und Bioabfall

Den Schwerpunkt dieses Kapitels bildet die energetische Nutzung von Stroh, das hauptsächlich beim Getreideanbau als Nebenprodukt anfällt. Es schließt sich eine Betrachtung der sonstigen Bioabfälle an.

Stroh

Wegen seines hohen Zellulose-Anteils ist Stroh ähnlich wie Holz thermisch verwertbar. Trotz der schwierigeren Verbrennungseigenschaften ist es, auch wegen der guten Speicher- und Abrufbarkeit, für die energetische Nutzung attraktiv, wie beispielsweise zahlreiche Strohkraftwerke in Dänemark und Spanien zeigen.

Im Referenzjahr 2007 wurde in Niedersachsen auf einer Fläche von 960.723 Hektar Getreide, und zwar überwiegend Weizen, angebaut, das entspricht 33,2 Prozent der Agrarfläche⁶⁵. Inwieweit sich die Größe der Getreideanbaufläche künftig ändern wird, ist schwer einschätzbar. Durch die abzusehende Verschärfung der Welt-Ernährungssituation können die Importe zurückgehen, andererseits wird die unumgängliche Umstellung auf ökologische Kreislaufwirtschaft ein niedrigeres Ertragsniveau bewirken, eine Reduzierung des Fleischanteils an der Ernährung könnte die Situation allerdings mildern (vgl. Kapitel 6.6 Energie- und Ölpflanzen).

Als sicher kann aber gelten, dass ein erheblicher Bedarf an Getreide für die Ernährung bestehen bleibt. Vor diesem Hintergrund wird die gegenwärtige Fläche unverändert als Zielansatz übernommen, ohne Reduzierung zugunsten anderer Kulturen wie etwa Energie- oder Rohstoffpflanzen.

*Holz - der älteste
von Menschen
genutzte Brennstoff*

In Deutschland spielt die energetische Nutzung von Stroh zurzeit noch keine nennenswerte Rolle, der größte Teil wird entweder als Einstreu in der Tierhaltung genutzt oder verbleibt gehäckselt gleich auf dem Acker. Mehrere Studien zur Frage, wie viel Stroh künftig für energetische Zwecke ohne negative Auswirkung auf die Humusbildung vom Acker entfernt werden darf, kommen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. In einem Positionspapier des IFEU⁶⁶ mit der Bewertung von 7 Studien wird vorgeschlagen, in Ökobilanzen für die energetische Nutzung von Stroh als Durchschnitt ein Drittel des anfallenden Getreidestrohs anzusetzen. Als Zielansatz wurde hier ein energetisch genutzter Anteil von lediglich 25 Prozent gewählt, um auch Mindererträgen durch ökologische Kreislaufwirtschaft und verstärkter stofflicher Nutzung im Bau- und Industriebereich Rechnung zu tragen.

Wie aus Holz lässt sich auch aus Stroh Wärme, Strom oder Treibstoff gewinnen. Für den Ersatz fossiler Brennstoffe bei der Prozesswärmegewinnung kann Stroh als Ballen, Strohpellets oder in brikettierter Form eingesetzt werden. Technologische Herausforderungen liegen im erhöhten Gehalt an aggressivem Chlor und den relativ zum Holz großen Aschemengen einschließlich der zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit erforderlichen Rückführung als Mineralstoffdünger auf die Ackerflächen. Die Stromgewinnung in Gas-/Dampfkraftwerken ist wegen des geringen erzielbaren Deckungsbeitrags und der oben beschriebenen Einschränkungen in diesem Szenario nicht vorgesehen, auf die Gewinnung von Treibstoff wurde wegen der ineffizienten Treibstoffnutzung in Verbrennungsmotoren verzichtet (siehe unten). Damit verbleibt der Nutz-Anteil von 25 Prozent voll für die Wärmegewinnung.

Der durchschnittliche jährliche Getreidestrohertrag liegt in Deutschland zwischen 5 und 6 Tonnen pro Hektar⁶⁷ in Hinsicht auf Mindererträge durch ökologische Kreislaufwirtschaft werden hier 5 Tonnen angesetzt. Der Heizwert von lufttrockenem Getreidestroh mit einem Wassergehalt von 15 Prozent wird mit 14,5 MJ pro Kilogramm entsprechend 4,0 kWh pro Kilogramm angegeben⁶⁸. Daraus ergibt sich ein jährlicher Brutto-Energieertrag von durchschnittlich 20,1 MWh pro Hektar.

Für die unterschiedlichen Nutzungs-Technologien wurden Wirkungsgrade in Anlehnung an die Holz-Nutzung angenommen (als Prozentwert in Klammern) und auf diese Weise die künftig erreichbaren jährlichen Energieerträge in MWh pro Hektar ermittelt:

1. Wärmeerzeugung mit Öfen und Kesseln: 15,1 (75).
- 2.1 Stromerzeugung mit Gas-/Dampfturbinen: 7,0 (35,0).
- 2.2 Genutzte Abwärme aus Verstromung: 7,0 (35,0).
3. Treibstoffherzeugung durch thermochemische Verfahren: 11,1 (55,0).

Aus den Zielansätzen für Getreideanbaufläche, Nutz-Anteil und Energieertrag ergibt sich für Niedersachsen ein Stroh-Energiepotenzial von jährlich 3.628 GWh Wärme mit Kesseln und Öfen entsprechend einem Deckungsbeitrag von 1,8 Prozent. Stroh ist prädestiniert für den Ersatz von fossilen Brennstoffen bei der Prozesswärmegewinnung in der Industrie und im Dienstleistungssektor.

Energie aus Stroh ist attraktiv durch gute Speicher- und Abrufbarkeit

Bioabfall

Bei Produktion, Verarbeitung und Verbrauch von landwirtschaftlichen Erzeugnissen fallen neben Stroh weitere Reststoffe an, die noch einen Teil der in der Pflanze gespeicherten Sonnenenergie enthalten. Es liegt daher nahe, diese Stoffe vor Rückführung in den natürlichen Stoffkreislauf energetisch zu nutzen. Dies geschieht bereits heute, beispielsweise durch Vergärung von Pflanzenresten, Gülle, Altfetten oder Klärwasser in Biogasanlagen.

Das aus Bioabfällen gewinnbare Energiepotenzial ist schwer einschätzbar, da es von einer Reihe kaum vorhersehbarer Faktoren abhängt. An der Vergärung von Rindergülle soll hier aber exemplarisch gezeigt werden, mit welchen Größenordnungen zu rechnen ist: Biogas mit einem Energieinhalt von etwa 1,8 MWh kann von den rechnerisch 0,8 Rindern jährlich erwartet werden, die mit einem Hektar Futteranbaufläche auskommen⁶⁹.

Wenn aber der Grünmasseertrag direkt, ohne den Umweg über das Rind, vergoren wird, entsteht auf demselben Hektar jährlich Biogas mit einem Energieinhalt von 33,4 MWh⁷⁰. Lediglich ein Rest von 5 Prozent der im Futter ursprünglich vorhandenen Energie ist demnach noch in der Gülle enthalten, die übrigen 95 Prozent sind im Tiekörper in Wärme umgesetzt, für den Aufbau von Körpermasse genutzt, mit der Milch abgezogen oder in Form von Methan in die Atmosphäre abgegeben worden. Es ist davon auszugehen, dass auch für die

Exkrememente anderer Vieharten und nicht zuletzt die des Menschen ähnliche Werte gelten.

Schlachtereiabfälle, Altfette und Speisereste sind zwar sehr energiereich, die zu ihrer Erzeugung aufgewendete Anbaufläche sollte in einer zukunftsfähigen Landwirtschaft vernünftigerweise aber nur einen kleinen Teil der Gesamtfläche ausmachen, so dass die künftig anfallenden Mengen sehr überschaubar ausfallen dürften. Über das Stroh hinaus fallen noch erhebliche Mengen an pflanzlichen Ernterückständen und Bioabfällen aus der Pflanzenverarbeitung an, allerdings handelt es sich überwiegend um energiearme Pflanzenbestandteile.

Legt man für eine grobe Abschätzung des Energiepotenzials von Bioabfall die Energieausbeute aus Rindergülle zu Grunde, könnte in einer ökologischen Kreislaufwirtschaft bei einer im Idealfall vollständigen Nutzung sämtlicher Bioabfälle die selbe Energiemenge erzeugt werden, wie mit Energiepflanzenanbau auf 5 Prozent der Agrarfläche.

Natürlich ist es sinnvoll, die nicht mehr anderweitig zu verwendenden Bioabfälle so weit wie möglich energetisch zu verwerten. Aber selbst, wenn dies trotz der logistischen Herausforderung für einen großen Teil der Abfälle gelänge, wäre der Beitrag zur Energieversorgung doch eher gering. Aus diesem Grund und wegen der schwachen Datenlage werden Energiegewinne aus Bioabfällen im Szenario nicht quantifiziert. Sie bilden aber ein Entlastungspotenzial, ein Teil der angesetzten Anbauflächen für Energie- bzw. Ölpflanzen könnte durch die Bioabfallnutzung entbehrlich werden und käme so der Ernährung und Rohstoffgewinnung zugute.

Auch Bioabfälle liefern Energie - Beitrag allerdings eher gering

6.6 Energie- und Ölpflanzen

Eigens für die energetische Nutzung landwirtschaftlich angebaute Biomasse einschließlich Kurzumtriebsplantagen und Ölsaaten ist Gegenstand dieses Kapitels. Wegen ihrer sehr guten Speicherebarkeit und Vielseitigkeit in der Anwendung ist Biomasse für die energetische Nutzung sehr attraktiv. Es entspricht allerdings der Bestimmung von 100%-Regionen, dass nur soviel Biomasse energetisch genutzt wird, wie aus eigenem Anbau für diesen Zweck erübrigt werden kann. Der größte Teil

der landwirtschaftlichen Flächen wird auch weiterhin für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion benötigt werden, verschiedene Faktoren lassen einen weiter steigenden Druck auf die heimischen Agrarflächen erwarten:

- Verschärfung der Welternährungssituation durch Bevölkerungswachstum, zunehmender Wohlstand in den Schwellenländern und Klimawandel-Folgen, dadurch Verteuerung und Zurückgehen der Importe, was durch eigene Produktion ausgeglichen werden muss.
- Ökologisch und ökonomisch zwangsläufiger Übergang auf ökologische Kreislaufwirtschaft, verbunden mit einem geringeren Ertragsniveau.
- Aus dem Niedergang von Erdöl und Kohle als Grundlage der heutigen Chemieindustrie erwächst die Notwendigkeit zum Ersatz fossiler Kohlenwasserstoffe durch nachwachsende Rohstoffe, deren Erzeugung in steigendem Maß Agrarflächen in Anspruch nehmen wird.

Einzig der Übergang auf eine fleischärmere Kost könnte in dieser Situation entschärfend wirken, da heute der größte Teil der Anbauflächen für die Futtermittelproduktion verwendet wird.

Die Meinungen, welcher Flächenanteil für Energiepflanzenanbau noch vertretbar ist, gehen weit auseinander - von einem strikten Verzicht bis zu etwa 20 Prozent, darüber hinaus gehende Annahmen sind aber kaum zu finden. Heute werden bereits 338.093 Hektar und damit 11,7 Prozent der Agrarflächen des Landes für Silomais beansprucht⁷¹. Unter der vereinfachenden Annahme, dass die Verwendung als Futter gegenüber der energetischen Nutzung zu vernachlässigen ist und dass andere Früchte wie beispielsweise Sonnenblumen in nur kleinen Mengen eingesetzt werden, entspricht das in etwa der Fläche für die Biogaszeugung. Als Zielwert für Energiepflanzen zur Biogasgewinnung wurde lediglich eine leichte Erhöhung auf 13,0 Prozent entsprechend 376.733 Hektar angesetzt.

Dazu kommen heute 149.663 Hektar entsprechend 5,2 Prozent der Agrarflächen für Winterraps, dessen zum größten Teil energetische Nutzung in Form von Pflanzenöl und Biodiesel unterstellt wird⁷². Für den Ölpflanzenanbau wird von einer gegenüber heute gleich bleibenden Anbaufläche von 5,2 Prozent ausgegangen, damit bleibt der energetisch genutzte Agrarflächenanteil von insge-

samt 18,2 Prozent deutlich unter dem Höchstmaß im Meinungsspektrum.

Ein Schwerpunkt der weiteren Betrachtung liegt auf der Biogasgewinnung aus **Energiepflanzen**, aus folgenden Gründen:

1. Andere Verfahren, wie thermische Vergasung beziehungsweise Verflüssigung, Alkohol-Gewinnung oder Holzgewinnung aus Kurzumtrieb, leisten zurzeit noch keine nennenswerten Beiträge.
2. Hinsichtlich der Energieerträge ist die Biogasgewinnung bisher allen anderen genannten Verfahren deutlich überlegen. Für die heute übliche Biogasgewinnung aus Silomais mit Verstromung und Abwärmenutzung werden Erntefaktoren zwischen 4 und 6 angegeben⁷³, die Energiepflanzen/Biogas-Technologie erscheint aus dieser Sicht für ein 100% regeneratives Energiesystem geeignet, auch wenn diese Werte am unteren Rand des Spektrums der unterschiedlichen Technologien liegen.
3. Die Biogasgewinnung ist bezüglich der möglichen Einsatzstoffe flexibler, so lässt sich die ganze Pflanze verwerten oder auch feuchter Bioabfall; dem ökologischen Landbau kommt die Möglichkeit von vielfältigen Fruchtfolgen und Mischkulturen entgegen.
4. Durch die vergleichsweise gute Bodenverträglichkeit und Düngewirkung des Substrats (flüssige Gärreste) passt die Biogasgewinnung besser in eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft als die anderen Verfahren; ein großer Teil der von den Pflanzen aufgenommenen Mineralstoffe kann dem Boden wieder zugeführt werden.

Die Ertragsannahmen stützen sich auf Angaben der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, wobei mit Maissilage zurzeit die höchsten Energieerträge erreicht werden⁷⁴: Aus jährlich 45 Tonnen Festmasse pro Hektar lassen sich heute 8.000 Kubikmeter Biogas mit einem Methangehalt von 52 Prozent gewinnen, bei einem unteren Heizwert von 10 kWh pro Normkubikmeter Methan ergibt sich ein Brutto-Energieertrag von 41,6 MWh pro Hektar. Dagegen sind mit Sudangrassilage 34,1, mit Grassilage 29,4 und mit Roggen-Ganzpflanzensilage nur 19,4 MWh pro Hektar und Jahr erreichbar; auch die Methanausbeute aus einer Tonne Festmasse liegt mit Werten zwischen 62 und 82 Kubikmetern

unter der von Mais mit 92. Folgende Annahmen liegen den Angaben zugrunde: Konventionelle Landwirtschaft, einmalige Ernte pro Jahr, Lagerungsverluste der Silage 12%.

Eine auf lange Sicht stabile Wirtschaftsweise setzt nicht nur eine vollständig regenerative Energieversorgung voraus, sondern auch eine dauerhaft funktionsfähige Landwirtschaft in geschlossenen ökologischen Kreisläufen. Der heute übliche Energiepflanzenanbau in Mais-Monokulturen ist als nicht zukunftsfähig anzusehen und wird durch schonende Anbaumethoden zu ersetzen sein. Es gibt deutliche Hinweise darauf, dass die Erträge künftig in einem nachhaltigen ökologischen Landbau geringer ausfallen als die der heutigen, vorwiegend konventionellen Intensivlandwirtschaft. In Fruchtfolgeversuchen an der Universität Kassel-Witzenhausen beispielsweise wurden Erkenntnisse mit verschiedenen, für Biogasgewinnung besonders ertragreichen Zweikulturnutzungssystemen gesammelt⁷⁵: Die erzielten jährlichen Erträge streuten von 20,5 bis 28,5 und lagen im Mittel bei 24,5 Tonnen Festmasse pro Hektar, unter Annahme einer durchschnittlichen Methanausbeute von 78 Kubikmeter pro Tonne ergibt sich daraus ein mittlerer Energieertrag von 19,1 MWh pro Hektar. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde als Zielansatz für die Biogasgewinnung ein jährlicher Brutto-Energieertrag von 20 MWh pro Hektar gewählt.

Bei direkter Nutzung des ins Gasnetz eingespeisten Biogases für Prozesswärme sind die Verluste gering, so dass hierfür der volle Brutto-Energieertrag von heute 41,6 und künftig 20 MWh pro Hektar als Ziel angesetzt werden kann. Wegen der Wandlungsverluste ist für die Verstromung in Blockheizkraftwerken mit Dieselmotoren heute von einem jährlichen Stromertrag von 12,5 MWh pro Hektar auszugehen, zusätzlich ständen noch 15,0 MWh pro Hektar an Abwärme zur Verfügung, die allerdings im Referenzjahr 2007 kaum genutzt und deshalb mit 0 MWh pro Hektar angesetzt wurde⁷⁶. Mit künftig leicht gesteigerten Wirkungsgraden⁷⁷, aber stark reduziertem Brutto-Energieertrag ergibt sich der Zielansatz für den jährlichen Stromertrag von 7 MWh pro Hektar und, unter Annahme voller Abwärmenutzung, zusätzlich 9 MWh pro Hektar thermisch.

Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion - mehr Energiepflanzen durch verringerten Fleischkonsum

Zur Bereitstellung von komprimiertem und damit tankbarem Biomethan für Fahrzeugantriebe kann aufgrund der Erfahrungen in einem schwedischen Projekt⁷⁸ von künftig 18,8 MWh jährlichem Energieertrag pro Hektar ausgegangen werden; mit konventionellem Landbau wären es zurzeit 39,1 MWh, allerdings spielt diese Anwendung noch keine Rolle.

Für das Referenzjahr 2007 ist davon auszugehen, dass das erzeugte Biogas nahezu vollständig verstromt worden ist, für die Einspeisung ins Gasnetz zur Direktnutzung und die Komprimierung zu Treibstoffen gab es nur einzelne Pilotprojekte zur Erprobung. Im Zielansatz sind 50 Prozent des Biogases für die Prozesswärmegewinnung vorgesehen, 45 Prozent für die Verstromung in Blockheizkraftwerken (BHKW) und 5 Prozent für die Bereitstellung von Treibstoff. Aus den Zielansätzen ergeben sich für die Biogasnutzung in Niedersachsen folgende jährliche Energiemengen (in Klammern Deckungsgrad in Prozent vom heutigen Energieverbrauch 201.245 GWh):

1. 3.767 GWh Prozesswärme (1,9),
2. 1.187 GWh Strom (0,6),
3. 1.526 GWh Abwärme (0,8) und
4. 354 GWh Treibstoffe (0,2).

Für neuere Ansätze zur Biomasseproduktion wie Algen oder künstliche Photosynthese lässt sich zurzeit noch nicht absehen, inwieweit sich einmal nennenswerte Potenziale ökologisch und ökonomisch vertretbar erschließen lassen.

Mehr als die Hälfte des verfeuerten Pflanzenöls heute aus ökologisch inakzeptablem Anbau

Pflanzenöl aus Winterraps bildet den zweiten Betrachtungsschwerpunkt, da es sich hervorragend zur Substitution von Erdöl eignet und zurzeit im Spektrum der regenerativen Energien eine nicht unbedeutende Rolle spielt. Bei einem extrahierbaren Ölertrag von jährlich 1,5 Tonnen pro Hektar und einem Energiegehalt einer Tonne Rapsöl von 37.500 MJ entsprechend 10,4 MWh beträgt der Energieertrag heute durchschnittlich 15,6 MWh pro Hektar⁷⁹. Zum Pflanzenöl liegen keine belastbaren Daten für die Erträge im Rahmen eines nachhaltigen ökologischen Landbaus vor; deshalb wird hier in Anlehnung an die Biogasgewinnung von einer Halbierung auf 7,8 MWh pro

Hektar als Zielansatz ausgegangen. Dieser Ansatz könnte sich möglicherweise noch als zu optimistisch erweisen, da die Erträge der heutigen Raps-Monokulturen nur mit hohem, auf Dauer nicht haltbarem Einsatz an Dünger und Schädlingsbekämpfungsmitteln zu erreichen sind.

Für die Verstromung von Pflanzenöl in Blockheizkraftwerken (BHKW) mit Diesellagregaten werden die Wirkungsgrade der Biogas-BHKW übernommen, daraus ergibt sich ein jährlicher Stromertrag von heute 4,7 und künftig 2,7 MWh pro Hektar. Unter Annahme der vollen Nutzung sind heute pro Hektar und Jahr zusätzlich 5,6 MWh Abwärme verfügbar, künftig werden es noch 3,5 MWh sein können.

Während im Referenzjahr 2007 in Niedersachsen auf 149.663 Hektar Winterraps angebaut wurde, lag die rechnerisch beanspruchte Anbaufläche für den tatsächlich verbrauchten Biokraftstoff bei 267.477 Hektar und für verstromtes Pflanzenöl noch einmal bei 53.530 Hektar^{80,81,82}. Damit lag der Verbrauch mehr als doppelt so hoch, wie die Produktion auf eigener Fläche: 178,7 Prozent Nutzanteil bei Biokraftstoff und zusätzlich 35,8 Prozent bei Strom. Mehr als die Hälfte des verfeuerten Pflanzenöls ist demnach eingeführt worden, hauptsächlich als Palmöl aus ökologisch größtenteils inakzeptablem Anbau. Um von Importen unabhängig und damit dem Leitgedanken der 100%-Erneuerbare-Energie-Region gerecht zu werden, muss der Verbrauch auf die eigenen Produktionsmengen zurückgeführt werden. Im Zielansatz ist das gesamte erzeugte Pflanzenöl wegen seiner hervorragenden Eigenschaften für Treibstoffe reserviert, zur Verwendung vor allem im Luftverkehr; für die Stromerzeugung stehen genügend andere Möglichkeiten zur Verfügung.

Aus den Zielansätzen ergibt sich für die Pflanzenölnutzung in Niedersachsen eine jährliche Energiemenge von 1.169 GWh in Form von Treibstoff, das entspricht einem Deckungsgrad von 0,6 Prozent des heutigen Energieverbrauchs (201.245 GWh).

Wegen der genannten Begrenzungen können mit dem Energie- und Ölpflanzen-Anbau nur geringe Deckungsbeiträge erreicht werden, durch die besonderen Merkmale - Speicher- und Abrufbarkeit, hohe Energiedichte und Tankbarkeit, problemlose Erdölsubstitution - bleibt die Energie vom Acker trotzdem interessant. In Phasen mit Mangel an Solar- und Windstrom könnte mit Strom aus Biogas beispielsweise der Minimalbedarf gedeckt werden. Mit Pflanzenöl könnten landwirtschaftliche und sonstige netzferne Maschinen betrieben werden.

Entscheidend für die nachhaltige Erschließung der Potenziale ist die baldige Überführung des Pflanzenanbaus in eine dauerhaft funktionsfähige ökologische Kreislaufwirtschaft und die weitere Optimierung der Energiegewinnungs-Technologien hinsichtlich Umweltverträglichkeit.

6.7 Umgebungswärme

Die Gewinnung nutzbarer Wärme aus oberflächennahen Bodenschichten mittels Erdkollektoren bzw. Erdsonden und elektrisch betriebenen Wärmepumpen, landläufig auch als Erdwärme bezeichnet, ist Gegenstand dieses Kapitels. Mit Wärme der Umgebungsluft betriebene Wärmepumpen sind nicht in die Betrachtung einbezogen, wegen der wesentlich geringeren Jahresarbeitszahlen und des daraus resultierenden höheren Strombedarfs. Auf elektrisch betriebene Wärmepumpen ist die Betrachtung beschränkt, weil andere Energieträger, wie beispielsweise Biogas oder Pflanzenöl, nur in begrenztem Maß bereit gestellt werden können und für andere Anwendungen wie Treibstoff im Luftverkehr oder Prozesswärme eher benötigt werden.

In oberflächennahen Bodenschichten wirken zwei sich überlagernde Energieströme: Aus dem Erdinneren der Erdwärmestrom mit einer Intensität von durchschnittlich 0,063 Watt pro Quadratmeter und von oben der Solarwärmestrom mit einer mittleren Intensität von 115 Watt pro Quadratmeter. Mit einem Anteil von einem halben Promille ist die Erdwärme dabei praktisch ohne Bedeutung, es handelt sich also um eine spezielle Form der Solarwärmenutzung.

Pro Hektar lässt sich dem Boden jährlich eine Wärmemenge von 1000 MWh entziehen⁸³. Bei einer konservativ angesetzten Jahresarbeitszahl von 3,8 für den künftigen Anlagenpark⁸⁴ ist dafür eine elektrische Antriebsleistung von 357 MWh pro Hektar und Jahr erforderlich, daraus ergibt sich eine jährlich nutzbare Wärmemenge von 1.357 MWh pro Hektar. Für den heutigen Anlagenbestand wird eine mittlere Jahresarbeitszahl von 3 angenommen, daraus resultiert eine elektrische Antriebsleistung von 500 und eine nutzbare Wärmemenge von 1.500 MWh pro Hektar und Jahr.

Da die gewonnene Wärme nicht über längere Distanz transportierbar ist, kommen als Gewinnungsflächen nur verbrauchernahe Flächen in Betracht. Durch die vergleichsweise niedrigen Bereitstellungstemperaturen von 40 bzw. 55° C ist

die Anwendung auf die Gebäudebeheizung und Brauchwassererwärmung beschränkt. Aus diesem Grund sind Freiflächen im Siedlungsbereich prädestiniert für die Gewinnung von Umgebungswärme. Bis zu 13 Prozent der Gebäude- und Freiflächen wären für die Gewinnung oberflächennaher Erdwärme ohne Nutzungskonflikte nutzbar⁸⁵, mit 2 Prozent wurde allerdings ein wesentlich geringerer Ansatz gewählt.

Der Einsatz elektrischer Wärmepumpen kann zu einem ausgeglichenen Energiemix beitragen, indem ein Überhang von Strom genutzt wird, um einen Teil der Heizwärme bereitzustellen. Durch Einspeisung der gewonnenen Wärme in Wärmespeicher wird eine sinnvolle Nutzung von überschüssigen Stromspitzen, beispielsweise in Starkwindzeiten, ermöglicht und damit ein wertvoller Beitrag zum zeitlichen Ausgleich von Angebot und Bedarf geleistet.

Bei einer Gebäude- und Freifläche von 332.812 Hektar in Niedersachsen⁸⁶ werden nach diesem Ansatz 6.656 Hektar mit Erdkollektoren belegt sein und durch die Wärmepumpen 9.033 GWh Wärme jährlich bereitgestellt, das entspricht einem Deckungsbeitrag von 4,5 Prozent. Der Stromverbrauch der Wärmepumpen in Höhe von 2.379 GWh schlägt mit einem negativen Deckungsgrad von 1,2 Prozent zu Buche.

Mit diesem Ansatz ist die Umgebungswärme nach der Solarwärme die zweite tragende Säule der Wärmeversorgung im Niedertemperaturbereich. Sehr zu empfehlen ist die konsequente Beschränkung der Betriebszeiten auf Phasen mit überschüssigem Strom; dies würde zu einer besseren Auslastung der vorhandenen Windenergie- und Photovoltaik-Anlagen führen und eine Vergrößerung des Anlagenparks erübrigen. Voraussetzung ist die Kombination mit Wärmespeichern; in Frage kommen dezentrale Speicher in PCM-Technologie (Phase Change Material) oder Koppelung mit den ohnehin für die Solarwärme notwendigen Saisonspeichern, die aufgrund der zwischenzeitlichen Nachladung in der kalten Jahreszeit kleiner dimensioniert werden könnten.

Für eine Anwendung der Technologie in breitem Maßstab erscheinen folgende Maßnahmen sinnvoll bzw. erforderlich:

Einsatz elektrischer Wärmepumpen kann zu ausgeglichenem Energiemix beitragen

1. Weiterentwicklung zur zuverlässigen Erreichung höherer Jahresarbeitszahlen.
2. Entwicklung von Verfahrensweisen zur Vermeidung von Umweltbeeinträchtigung im Anlagenbetrieb.
3. Entwicklung von Wärmespeicherkonzepten für geringe Temperaturdifferenzen.

Zum Status der Umgebungswärme-Nutzung in Niedersachsen lagen geeignete Daten nicht vor, aus diesem Grund wird der deutsche Durchschnittswert für den Belegungsgrad von 0,06 Prozent der Gebäude- und Freiflächen angenommen⁸⁷. Bezogen auf 332.812 Hektar Gebäude- und Freiflächen in Niedersachsen kann die Energieproduktion aus Umgebungswärme mit Wärmepumpen im Jahr 2007 mit 297 GWh und der Stromverbrauch mit 99 GWh abgeschätzt werden.

6.8 Tiefen-Geothermie

Tiefen-Geothermie basiert auf der Tatsache, dass die Temperatur in der Erdkruste mit zunehmender Tiefe steigt und so im Unterschied zur Umgebungswärme eine direkte Nutzung ohne Wärmepumpe möglich ist. Ursache für die erhöhten Temperaturen ist der Erdwärmestrom, der vom heißen Erdkern und aus radioaktiven Zerfallsprozessen in der Erdkruste gespeist wird und zur kälteren Erdoberfläche hin gerichtet ist. Der Erdwärmestrom ist mit einer Dichte von 0,063 Watt pro Quadratmeter⁸⁸ vergleichsweise schwach. Seine Intensität liegt bei nur einem halben Promille des Solarwärmestroms, der in Deutschland mit ca. 115 Watt pro Quadratmeter auf die Erdoberfläche einwirkt⁸⁹.

Die bisher realisierten oder geplanten Geothermieprojekte sind durchweg so ausgelegt, dass weitaus mehr Energie gefördert

wird, als der Erdwärmestrom nachliefern kann. Die gewonnene Energie stammt dabei fast ausschließlich von gespeicherter Erdwärme aus Tiefenwasser oder Gestein, welches durch die Entnahme abkühlt. Damit ist die Nutzungsdauer begrenzt auf die Zeitspanne, innerhalb der die Temperatur des erschlossenen Speichervolumens auf einen nicht mehr nutzbaren Wert absinkt. Die anschließende Wiederaufladung durch den Erdwärmestrom nimmt ein Vielfaches dieser Zeitspanne in Anspruch. Bei der

heute typischen Auslegung der Fördermengen auf eine Ausbeutungsdauer von 30 bis 100 Jahren⁹⁰ kann die Tiefen-Geothermie nicht als erneuerbare Energiequelle gelten.

Nur bei extensiver Nutzung wäre die Tiefen-Geothermie dauerhaft nutzbar und damit auch als regenerative Energie anzusehen: Wenn nicht mehr entnommen wird, als der Erdwärmestrom nachliefern kann⁹¹. Allerdings befände sich die Tiefen-Geothermie bei derartig geringen förderbaren Wärmemengen weit ab von jeder Wirtschaftlichkeit. Zur Überwindung dieses Problems ist eine feldweise Bewirtschaftung vorstellbar, bei der nacheinander immer nur ein kleiner Teil des unterirdischen Wärmespeichers entladen wird, während die übrigen Felder sich regenerieren können.

Aber selbst unter der theoretischen Annahme, dass die Erdwärme auf der gesamten Fläche Niedersachsens auf diese Weise genutzt werden könnte, wäre der Deckungsbeitrag wegen der geringen Intensität des Erdwärmestroms marginal: Bei einem Erdwärmestrom von 0,063 Watt pro Quadratmeter entsprechend 5,52 MWh pro Hektar und Jahr und einer bei Abkühlung minimal noch nutzbaren Temperaturdifferenz von 80 Prozent vom Anfangswert ergibt sich gemäß⁹² ein Brutto-Energieertrag von 1,10 MWh pro Hektar und Jahr. Mit einem angenommenen Wirkungsgrad für Förderung und Verteilung der Wärme von 60 Prozent bleibt davon ein Netto-Energieertrag von 0,66 MWh pro Hektar und Jahr. Maximal wäre auf der Landesfläche Niedersachsens von 4.761.974 Hektar somit dauerhaft eine jährliche Energiebereitstellung von 3.154 GWh möglich, bezogen auf den Bedarfsmaßstab (201.245 GWh pro Jahr) entspricht einem Deckungsbeitrag von gerade einmal 1,36 Prozent. Wegen fehlender Aussicht auf dauerhaft nennenswerte Beiträge bleibt die Tiefen-Geothermie im Szenario unberücksichtigt.

Tiefengeothermie wäre auf Dauer nur durch extensive Nutzung aufrecht zu erhalten



7 → Energiebereitstellung

Nur ein Teil der Energie kann in der Form sinnvoll verwendet werden, wie sie ursprünglich produziert wurde. Die bestmögliche Abdeckung des Bedarfs an den verschiedenartigen Energiedienstleistungen - durch einen angemessenen Energiemix und zeitgerechte Bereitstellung - erfordert teilweise die nochmalige Wandlung der ursprünglich produzierten Energie. Zum Teil sind diese Wandlungen mit erheblichen Verlusten verbunden, was sich in einem Wirkungsgrad kleiner 100 Prozent ausdrückt.

Elektromobilität ist die einzig erkennbare Alternative zu den heute nahezu gänzlich mit Erdöl betriebenen Landverkehrsmitteln, das wegen der begrenzten Potenziale an Biokraftstoffen nur in sehr geringem Umfang direkt ersetzbar sein wird. Bis auf den Schienenverkehr gibt es für die Fahrzeuge heute keine direkte Verbindung zum Stromnetz, auch für die Zukunft sind dazu keine Ansätze zu erkennen. Daraus ergibt sich, dass gespeicherte Antriebsenergie im Fahrzeug mitgeführt werden muss. Die beiden aus heutiger Sicht aussichtsreichsten Speicherformen sind im Szenario vorgesehen:

1. Durch Elektrolyse kann energiereiches Wasserstoffgas erzeugt werden, das sich in Tanks speichern und mit Brennstoffzellen wieder in Antriebsstrom zurück verwandeln lässt, Hauptvorteil ist die vergleichsweise kostengünstige Speicherbarkeit großer Energiemengen (siehe Kapitel 7.1).
2. Mit Akkumulatoren kann elektrische Energie chemisch direkt gespeichert und wieder abge-

rufen werden, Hauptvorteil ist der vergleichsweise hohe Wandlungs-Wirkungsgrad von Strom zu Strom (siehe Kapitel 7.2).

Eine parallele Verwendung beider Speicherformen ermöglicht die Optimierung des Gesamtsystems: Während der größere Teil der Verkehrsleistung mit den effizienten Akkumulatoren erbracht wird, kann überschüssiger Strom in Wasserstoff gewandelt und als Reserve für energiearme Phasen bevorratet werden.

Wegen des Wegfalls fossiler Brennstoffe, aus denen Prozesswärme heute überwiegend erzeugt wird, und weil biogene Brennstoffe als Ersatz nur in sehr beschränktem Umfang verfügbar sind, wird künftig vermehrt Strom dafür eingesetzt werden müssen (siehe Kapitel 7.3).

Durch Ersatz der heute mit Strom bereitgestellten Niedertemperaturwärme durch Solar- und Umgebungswärme wird Strom frei für höherwertige Anwendungen wie Elektromobilität und Prozesswärme (siehe Kapitel 7.4).

7.1 Elektromobil-Brennstoffzelle

Bei der Umwandlung von Strom in Wasserstoff mit Elektrolyse und bei der späteren Rückwandlung in Strom mit Brennstoffzellen im Fahrzeug entstehen Verluste. Maßgebliche Größe für das Energieszenario ist der Wirkungsgrad über die gesamte Wandlungskette als Verhältnis von Stromoutput zum Strominput, die verfügbaren Quellenangaben dazu weisen beachtliche Unterschiede auf^{93,94,95}. Für die Wandlungskette Strom - Wasserstoff - Strom wurde

ausgehend von diesem Spektrum ein erreichbarer Wirkungsgrad von 30 % angesetzt. Der Status ist unerheblich und wurde mit 0 angesetzt, da diese Technologie heute, abgesehen von wenigen Versuchsfahrzeugen, noch nicht eingesetzt wird.

Als Ziel-Ansatz wurde für ‚Elektromobil Brennstoffzelle‘ ein Nutzanteil von 22 Prozent gewählt, um einen ausgeglichenen Energiemix zu erreichen und genügend Energie zur Überbrückung von längeren Phasen mit schwachem Energieangebot vorzuhalten. Von der jährlich verfügbaren Strommenge⁹⁶ werden demnach 15.723 GWh (entsprechend einem negativen Deckungsbeitrag von 7,8 Prozent) für die Wasserstoff-Elektrolyse eingesetzt - und zwar überschüssiger Strom, beispielsweise aus Starkwindphasen. Mit dem

Wirkungsgrad für die Wandlungskette von 30 Prozent verbleibt eine in den Fahrzeugen verfügbare elektrische Antriebsenergie von 4.717 GWh pro Jahr entsprechend einem Deckungsbeitrag von 2,3 Prozent.

Eine bessere Speicherbarkeit und ein einfacherer Umgang mit dem Brennstoff könnte erreicht werden durch Methanisierung - also durch Veredelung des Wasserstoffs zu erdgasähnlichem Methan - allerdings um den Preis zusätzlicher Wandlungsverluste. Wirkungsgrade von 85 Prozent sind voraussichtlich möglich⁹⁷. Zu klären ist noch, wie viel von dem dafür erforderlichen CO₂ aus regenerativen Quellen dauerhaft verfügbar gemacht werden könnte, beispielsweise aus der Zementherstellung, dem Kalkbrennen oder Prozessen der chemischen Industrie.

Die Technologien für die verschiedenen Komponenten sind teilweise bereits langjährig erprobt, die Brennstoffzellen-Technik befindet sich allerdings noch im Prototypen-Stadium.

Investitionen in Forschung und Entwicklung sind erforderlich zur Steigerung der Wirkungsgrade und für eine Verbesserung von Praxis-tauglichkeit und Sicherheit.

Interessant für eine flexible Wahl des jeweils gerade verfügbaren Energieträgers wäre in den Fahrzeugen die Tauschbarkeit von standardisierten

Modulen mit Wasserstofftank/Brennstoffzellen und Akkumulatoren.

Eine Nutzung der bei der Wasserstoff-Elektrolyse entstehenden Abwärme erscheint, beispielsweise durch Einspeisung in Saison-Wärmespeicher für Raumheizung, möglich und sinnvoll, wurde im Szenario aber nicht quantifiziert.

Außerdem könnte die Rückverstromungs-Abwärme von der Brennstoffzelle zur Erwärmung des Fahrzeuginneren genutzt werden.

7.2 Elektromobil - Akkumulator

Die beim Laden und Entladen der Akkumulatoren, verallgemeinernd häufig als Batterien bezeichnet, entstehenden Verluste bestimmen den Lade-/Entlade-Wirkungsgrad⁹⁸: Konservativ wurden jeweils die unteren Werte der angegebenen Spanne angesetzt mit 65 Prozent für die heute im Fahrzeugbereich noch vorherrschenden Bleiakkus und 90 Prozent für die effizienteren Lithium-Ionen-Akkus.

Als Ziel-Ansatz wurde für akkubetriebene Elektromobile ein Nutzanteil von 15,2 Prozent gewählt, um einen ausgeglichenen Energiemix mit optimaler Effizienz zu erreichen. Von der jährlich verfügbaren Strommenge⁹⁹ werden demnach 10.863 GWh für die Aufladung der Fahrzeugakkus eingesetzt, das entspricht einem negativen Deckungsbeitrag von 5,4 Prozent. Mit einem Lade-/Entlade-Wirkungsgrad von 90 Prozent wird künftig in den Fahrzeugen eine elektrische Antriebsenergie von 9.778 GWh pro Jahr verfügbar sein, entsprechend einem Deckungsbeitrag von 4,9 Prozent.

Im Konsumbereich sind Lithium-Ionen-Akkus seit Jahren in breitem Einsatz. Weiterentwicklungen zielen auf die größeren erforderlichen Speicherkapazitäten, höhere Reichweiten durch Steigerung der Speicherdichte und die Brandsicherheit auch bei Unfällen. Die mit den gegenwärtigen Speicherdichten erzielbaren Reichweiten kommen noch nicht annähernd an die mit einer Tankfüllung Kraftstoff zurückzulegenden Strecken heran. Dazu kommt, dass die Ladezyklen erheblich länger dauern, als die Betankung mit Kraftstoff. Einer der verfolgten Lösungsansätze ist ein dichtes Netz von Schnell-Ladestationen. Wenn Akkumulatoren je nach Energieangebot abwechselnd mit Brennstoffzellen genutzt werden sollen, ist ein anderer Ansatz besonders interessant, bei dem entladene Leihakkumulatoren an Tankstellen durch geladene Akkus komplett getauscht werden. Dies ist in Minutenschnelle machbar und würde wahlweise auch den Einsatz von

Brennstoffzelle für Langstreckenfahrten und zur Nutzung von Wasserstoff aus Starkwindphasen

kompatiblen Modulen mit Wasserstofftank und Brennstoffzelle ermöglichen.

Wegen der geringen Entladeverluste fällt kaum Abwärme an, deshalb sind effiziente Konzepte für die Vermeidung frierer Fahrzeuginsassen gefragt.

Ein ernstzunehmendes Problem ist in der Begrenztheit der weltweiten Lithiumvorkommen zu sehen, das Metall gehört zu den seltenen Stoffen. Dies erfordert große Anstrengungen für eine Recyclingquote nahe 100 Prozent und für die Erschließung alternativer Stoffe bzw. Technologien.

7.3 Prozesswärme aus Strom

Prozesswärme mit einem Anteil von heute 41,2 Prozent an der gesamten Wärmebereitstellung wird in Haushalten (Kochen, Backen...), in der Industrie (Metallgewinnung, Kunststoffherstellung...), und in Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (Schweißen, Trocknen...) verwendet¹⁰⁰. Sie unterscheidet sich durch Temperaturen oberhalb 100°C vom Niedertemperatur-Wärmebedarf unterhalb 100°C (Raumwärme, Warmwasserbereitung mit einem Anteil von 58,8 Prozent).

87,1 Prozent der bereitgestellten Prozesswärme stammt heute aus (größtenteils fossilen) Brennstoffen, 12,9 Prozent aus Strom¹⁰¹. In einer 100%-Erneuerbare-Energieregion-Niedersachsen wird das begrenzte Angebot an Holz und anderen Bioenergien bei weitem nicht ausreichen, um die großen, heute verfeuerten Brennstoffmengen zu ersetzen. Um diese Lücke zu füllen, bietet sich Strom an, der sich mit Wirkungsgraden von praktisch 100 Prozent in Prozesswärme besonders hoher Qualität wandeln lässt. Zusätzlich zu dem bereits im Strom enthaltenen Prozesswärmeanteil sind im Zielansatz 21,55 Prozent der verfügbaren Strommenge dafür vorgesehen, das entspricht 15.403 GWh jährlich und, bezogen auf den heutigen Energiebedarf, einem Deckungsbeitrag von 7,7 Prozent.

Prozesswärme-Bereitstellung mit Strom ist in den meisten Bereichen Stand der Technik, vorteilhaft wird sich die im Vergleich zu Brennstoffen hervorragende Regelbarkeit, Verlustarmut und Sauberkeit erweisen. Da insgesamt erheblich weniger Energie für Prozesswärme zur Verfügung stehen wird, kommt es sehr auf energieeffiziente Prozesse, sparsam herstellbare und langlebige Produkte und insgesamt auf die Vermeidung von Verschwendung in jeder Hinsicht an. Günstig für den Ausgleich von Schwankungen im Energieangebot und auch in

ökonomischer Hinsicht wäre eine Betriebsführung in Abhängigkeit vom Stromangebot bei solchen Prozessen, die nicht unbedingt auf kontinuierlichen Betrieb angewiesen sind.

7.4 Niedertemperaturwärme aus Strom

Durch die Niedertemperatur-Wärmebereitstellung für Warmwasser und Raumheizung mit Strom wird heute ein Stromverbrauch in Höhe von 2,7 Prozent vom Gesamtenergieverbrauch verursacht¹⁰². Es erscheint wenig sinnvoll, NT-Wärme mit Temperaturen unter 100°C auch künftig weiter mit der hochwertigen Energieform Strom zu erzeugen, prädestiniert dafür ist die Nutzung der Solarstrahlung mit Flachkollektoren und der Umgebungswärme mit Erdkollektoren und Wärmepumpen.

Aus diesem Grund ist der weitgehende Ersatz der heutigen elektrischen NT-Wärmebereitstellung durch Solar- und Umgebungswärme vorgesehen. Der Nutzanteil von 4 Prozent der verfügbaren Strommenge¹⁰³ ist so gewählt, dass die frei werdende Strommenge einem Deckungsanteil von 1,4 Prozent¹⁰⁴ entspricht, das sind 2.859 GWh jährlich. Um diesen Betrag wird der Maßstab für Strombedarf vermindert, während der für Niedertemperaturwärme um denselben Betrag erhöht wird¹⁰⁵.

Technologisch ist die Umstellung kein Problem. Die praktische Umsetzung stellt allerdings höhere Anforderungen, da beispielsweise die Zapfstellen der heute häufig dezentral angeordneten Warmwasserbereiter durch Rohrleitungen mit dem zentralen Wärmespeicher im Gebäude bzw. im Wohnbezirk verbunden werden müssen.

Prozesswärme aus Strom – hervorragend regelbar, verlustarm, sauber





8 ➔ Energieverbrauch

Die beste Energie ist die, die gar nicht erst verbraucht wird - 'Negawatt'¹⁰⁶ statt Megawatt. Jede Kilowattstunde, die nicht produziert, gespeichert und transportiert werden muss, beansprucht keine Flächen, bindet keine wertvollen Materialien, verursacht keine Störungen, ist frei von Verlusten, greift nicht in den Stoffhaushalt ein und bindet keine wertvollen Rohstoffe und Arbeitsstunden.

Energieeinsparung ist nicht auf den Verzehr endlicher Vorräte angewiesen und somit dauerhaft aufrecht zu erhalten - sie ist daher als eine besonders wertvolle Form der erneuerbaren Energien anzusehen.

Um das Ziel der Vollversorgung Niedersachsens mit erneuerbaren Energien aus

eigenen Quellen zu erreichen, kommt der Verminderung des heutigen Energieverbrauchs höchste Bedeutung zu: Mit den gewählten Zielansätzen für regenerative Energieproduktion ist in Niedersachsen ein Abdeckungsgrad von 50,6 Prozent des heutigen Endenergieverbrauchs erreichbar, daraus ergibt sich eine erforderliche Verbrauchsminderung in Höhe von 49,4 Prozent im Durchschnitt über alle Bereiche¹⁰⁷.

Mit den anstehenden Veränderungen wird die Gesellschaft vor enorme Herausforderungen gestellt, allerdings ist für das 'Raumschiff Erde' und damit auch für Europa, Deutschland und Niedersachsen keine dauerhaft zukunfts- und friedensfähige Alternative erkennbar zur Vollversorgung mit

erneuerbaren Energien aus eigenen Quellen. Da das regionale Energieangebot begrenzt ist, muss folglich der Anteil am heutigen Verbrauch, der über das nachhaltig gewinnbare Energieangebot hinausgeht, eingespart werden. Für Einsparungen gibt es auf der anderen Seite sehr große Potenziale, da die in der Vergangenheit niedrigen Preise für fossile Brennstoffe zu einem vielfach äußerst verschwenderischen Umgang mit Energie geführt haben.

Im Wesentlichen kann die erforderliche Verbrauchsminderung durch eine Steigerung der Effizienz bei der Energienutzung und in den Wirtschaftsabläufen erreicht werden. In ihrem Bereich 'FAKTOR VIER' an den Club of Rome haben Ernst-Ulrich von Weizsäcker, Amory und Hunter Lovins bereits 1995 in vielen Beispielen aufgezeigt, dass und wie eine vierfache Energieeffizienz erreicht werden kann¹⁰⁸.

So vielfältig die mit Energieeinsatz erbrachten Leistungen sind, so vielfältig sind auch die möglichen Maßnahmen zur Verbrauchsminderung. Auf eine detaillierte und vollständig quantifizierte Betrachtung wird hier verzichtet, das hätte den Rahmen dieser Studie gesprengt. Stattdessen werden die Möglichkeiten für Verbrauchsminderungen bei den vier Energiearten Niedertemperaturwärme, Antriebe im Verkehr, Prozesswärme und Strom exemplarisch betrachtet.

Da das Energieangebot aus Solarstrahlung und Wind stark schwankt und sich so Zeiten mit Überdeckung und Zeiten mit Unterdeckung abwechseln, müssen auch die Möglichkeiten zur zeitlichen Anpassung des Verbrauchs beleuchtet werden. Vier

Keine Alternative erkennbar zur Selbstversorgung mit erneuerbaren Energien

verschiedene Prinzipien können dafür angewendet werden:

1. **Abregelung** der Energieerzeugung in Zeiten von Energieüberschuss ist am einfachsten realisierbar und stellt vergleichsweise geringere Ansprüche an die Leistung der Übertragungsnetze, allerdings kann damit Energiemangel nicht ausgeglichen und die Erzeugungsanlagen nicht voll ausgelastet werden.
2. **Energiespeicher** nehmen Energieüberschüsse auf und geben diese in Zeiten mit Energiemangel wieder ab, allerdings sind Speicher aufwändig in der Herstellung, voluminös und mit teils gravierenden Energieverlusten behaftet.
3. **Lastverschiebung** in Zeiten mit ausreichendem Energieangebot ist mit den heutigen Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnik gut realisierbar, setzt aber zeitliche Flexibilität der zu versorgenden Prozesse voraus, die nicht in jedem Fall erreicht werden kann.
4. **Überregionaler Verbund** zum Export von Überschüssen und Import in Zeiten mit Energiemangel vermindert den Bedarf an aufwändigen Speichern, kann aber für sich allein keine vollständige Versorgungssicherheit gewährleisten und erfordert größeren Aufwand beim Verbundnetz.

Da jedes dieser Prinzipien bestimmte Stärken und Schwächen aufweist, ist es für die Systemoptimierung sinnvoll, sie in geeigneter Weise zu kombinieren. So ist dieses Szenario auch nicht auf Autarkie ausgerichtet, sondern auf eine bilanzielle Selbstversorgung jeweils über Jahreszeiträume.

8.1 Anpassung Strom

Mit einem Anteil von heute 22,2 Prozent vom gesamten Endenergieverbrauch bildet der Verbrauch von elektrischer Energie (hier vereinfacht mit 'Strom' bezeichnet) einen bedeutenden Posten in der deutschen Energiebilanz¹⁰⁹. Wegen seiner universellen Anwendbarkeit ist Strom der wertvollste Energieträger und für stationäre Anwendungen über das Leitungsnetz nahezu überall verfügbar. Die heutigen Anteile der unterschiedlichen Anwendungsbereiche bezogen auf den gesamten Stromverbrauch (und auf den gesamten Endenergieverbrauch jeweils in Klammern) in Prozent:¹¹⁰

- A. Mechanische Energie, netzgebunden: 57,2 (12,4).
- B. Prozesswärme: 20,2 (4,4).
- C. Niedertemperaturwärme: 12,3 (2,7).
- D. Beleuchtung einschließlich Information / Kommunikation: 10,3 (2,2).

Mit den im Szenario gewählten Ziel-Ansätzen wird ein Abdeckungsgrad von gut 70 Prozent des heutigen Stromverbrauchs erreicht, für eine Vollversorgung aus heimischen Quellen ist also eine Verbrauchsminderung von 30 Prozent erforderlich¹¹¹.

8.1.1 Stromeinsparung

Wie groß die Einsparpotenziale bei der effizienten Stromnutzung offensichtlich sind, ist in einer Studie des Umweltbundesamtes belegt¹¹²: 21 Prozent des Stromverbrauchs ließen sich demnach allein schon durch Maßnahmen einsparen, die sich bereits heute innerhalb weniger Jahre amortisieren. Um die für das 100%-Ziel erforderliche Verbrauchsminderung von 30 Prozent zu erreichen, seien aus der Vielzahl möglicher Maßnahmen im Folgenden einige genannt, von denen wesentliche Beiträge zu erwarten sind:

*Beim Strom würden
30 Prozent
Verbrauchsminderung
genügen*

A. Mechanische Energie

- A.1 Steigerung der Effizienz elektrischer Antriebe - beispielsweise effiziente Elektromotoren, Pumpen, Kühleinrichtungen in der Industrie und im Dienstleistungsbereich; im Haushaltsbereich effiziente Wäschetrockner, Heizungspumpen, Spülmaschinen und Waschmaschinen. Dazu sind Waschmaschinen und Spülmaschinen grundsätzlich mit Warmwasseranschlüssen zu versehen, so dass die bisher elektrisch erbrachte Heizleistung durch Solarwärme ersetzt werden kann.
- A.2 Verlängerte Nutzungsdauer, intensivere Nutzung der Produkte und verstärktes Recycling - durch eine Verdoppelung der Nutzungsdauer beispielsweise könnte die Menge der jährlich zu produzierenden und zu verteilenden Investitions- und Gebrauchsgüter halbiert und so der Energiebedarf von mechanischer Energie in Industrie und im Dienstleistungssektor erheblich gesenkt werden (siehe Kapitel 8.3). Rohstoffsparende Maßnahmen sind überdies nicht

nur aus energetischen Sicht, sondern auch wegen der Verknappung zahlreicher Rohstoffe unausweichlich.

B. Prozesswärme (siehe Kapitel 8.3).

C. Niedertemperaturwärme

aus Strom ist im Ziel-Ansatz durch Solar- bzw. Umgebungswärme ersetzt und schlägt daher beim Strom nicht mehr zu Buche (siehe Kapitel 8.2).

D. Beleuchtung

einschließlich Information / Kommunikation

D.1 Effizienzsteigerung bei der Beleuchtung, bei Informations- und Kommunikationstechnik - beispielsweise durch Umstellung auf effiziente

Leuchtstoff- und Energiesparlampen oder LED, durch verbrauchsarme Personalcomputer und Server, durch verbrauchsarme Fernsehgeräte.

D.2 Vermeidung von Bereitschaftsverlusten - beispielsweise durch Netztrennung

bzw. Geräte mit geringer Standby-Leistung, durch bedarfsweise Einschaltung der Beleuchtung über Bewegungsmelder.

D.3 Verringerte Produktion von Investitions- und Gebrauchsgütern, wie unter A.2 genannt, würde auch eine räumliche bzw. zeitliche Verminderung des Beleuchtungsbedarfs und verringerte Laufzeiten bei Personalcomputern bewirken.

Das Verminderungsziel beim Stromverbrauch erscheint durchaus realistisch, ohne gravierende Einbußen an materiellem Wohlstand.

8.1.2 Lastsicherung

Die wohl größte Herausforderung wird darin bestehen, das zeitlich sehr stark schwankende Stromangebot zum einen bestmöglich zu nutzen und zum anderen eine ausreichende Versorgung der vorhandenen Lasten zu jedem Zeitpunkt sicherzustellen. Für die diesem Zweck dienende Maßnahmen wird hier der Begriff Lastsicherung eingeführt. Aus den bekannten Techniken zur Lastsicherung mit ihren spezifischen Stärken und Schwächen kann durch Kombination ein optimiertes Gesamtsystem geschaffen werden¹¹³:

1. Die fortgeschrittene Informations- und Kommunikationstechnologie mit Mikrochips und Internet ermöglicht den Ausbau des Stromnetzes zu einem „Smart Grid“. Damit können Stromverbraucher, die in ihren Laufzeiten flexibel sind (z. B. Kältemaschinen, Wasserstoff-Elektrolyse, Fahrzeugakkus) weitgehend automatisiert in Phasen mit Stromüberschuss aktiviert werden. Neben dem Lastmanagement können über ein Erzeugungsmanagement BHKW als Biomasse-Reservekraftwerke gesteuert und Wind- bzw. PV-Anlagen bei Angebotsspitzen abgeregelt werden.

2. Für die bewährte Technologie der Pumpspeicherkraftwerke mit erreichbaren Lade-/Entlade-Wirkungsgraden um die 75 Prozent gibt es in Niedersachsen wegen der geologischen Gegebenheiten und der gravierenden Umwelteinriffe so gut wie keine Ausbaumöglichkeiten. Die Möglichkeiten zur Nachnutzung ehemaliger Bergwerke für untertägige Pumpspeichieranlagen wird gegenwärtig erforscht, Hinweise auf nennenswerte Potenziale sind zurzeit nicht absehbar¹¹⁴. Durch anteilige Nutzung der europäischen Potenziale an Pumpspeicherkraft, zum Beispiel in Norwegen, kann jedoch ein erheblicher Beitrag zur erforderlichen Regelleistung erbracht werden. Voraussetzung dafür ist zum einen die Beachtung der Umweltbelange und zum anderen entsprechende Netzverbindungen. Ein wichtiger Baustein ist das NorGer-Kabel von Kristiansand in Norwegen in die Wesermarsch, das 2015 in Betrieb gehen soll.

3. Die Wirkungsgrade von adiabaten Druckluftkraftwerken sollen in Verbindung mit unterirdischen Druckluftspeichern Lade-/Entlade-Wirkungsgrade zwischen 62 und 70 Prozent erreichen können, während die herkömmlichen Druckluftkraftwerke wegen der erforderlichen Wärmezufuhr indiskutable Wirkungsgrade von unter 50 Prozent aufweisen. Für die als Speicher vorgesehenen unterirdischen Kavernen und Porenspeicher bietet gerade Niedersachsen interessante geologische Gegebenheiten. Weltweit existiert allerdings noch kein solches Großkraftwerk.

4. Bei einer um eine Größenordnung höheren Energiedichte gegenüber Druckluft könnten mit Wasserstoffgas in unterirdischen Kavernen sehr viel größere Energiemengen gespeichert werden, allerdings unter Inkaufnahme eines niedrigeren

*Ausreichende Versorgung
zu jedem Zeitpunkt,
trotz schwankendem
Stromangebot*

Wirkungsgrades für die gesamte Kette Strom-Wasserstoff-Strom zwischen 21 und 43 Prozent. Die Technologie ist verfügbar, wie beispielsweise die seit 2004 in Betrieb befindliche autarke Stromversorgung auf der norwegischen Insel Utsira zeigt¹¹⁵. Wegen der Gefahr von Bodensenkungen durch die häufigen Druckwechsel beim Be- und Entladen muss allerdings sorgfältig geprüft werden, inwieweit die vorhandenen Erdgas-Speicherkavernen künftig für die Wasserstoffspeicherung genutzt werden können.

5. Die höchsten Lade-/Entlade-Wirkungsgrade weisen chemische Stromspeicher auf: 65-70 Prozent beim herkömmlichen Bleiakku, 90-95% bei modernen Lithium-Ionen-Akkus und 70-80% bei Redox-Flow-Batterien. Letztere besitzen den Vorteil, dass sich die elektrische Ladung in dem flüssigen Elektrolyten befindet, der in einfachen Tanks in größeren Mengen preiswert gelagert werden kann. Bei den anderen Akkutypen ist die Realisierung größerer Speicherkapazitäten sehr materialaufwändig und kostspielig. Im Fall des seltenen Metalls Lithium sind die global erschließbaren Mengen sehr begrenzt, so dass intensiv nach gleichwertigen Alternativen geforscht und die Recycling-Quote auf nahe 100 Prozent gebracht werden sollte.
6. Ein überregionaler Verbund mit einem „Supergrid“ für Europa kann wegen der räumlichen Verteilung unterschiedlicher Wetterlagen zu einem Ausgleich der Schwankungen bei Windstrom und Solarstrom beitragen, die in Niedersachsen für den Lastausgleich erforderlichen Aufwände werden dadurch erheblich vermindert. Mit Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) kann bei gleichen Leitungsdimensionen ein mehrfaches an Leistung mit geringeren Verlusten über weite Strecken übertragen werden.
7. Durch Erweiterung des Supergrid auf Nordafrika könnten solarthermische Kraftwerke in den Wüstenregionen zur Stromversorgung Europas beitragen. Sie sind durch thermische Energiespeicher in der Lage, auch nachts Solarstrom zu liefern. Dieser Ansatz geht zwar über eine reine bilanzielle Selbstversorgung hinaus, hätte aber im Exportland Deutschland als Ausgleich für die in Exportgütern enthaltene graue Energie seine Berechtigung. Das Für und Wider ist allerdings sorgfältig abzuwägen: Der Bedarf von großen Mengen an Kühlwasser darf nicht zu Lasten der

einheimischen Bevölkerung gehen; die Deckung eines auf europäisches Niveau steigenden nordafrikanischen Energiebedarfs sollte Vorrang vor dem Energieexport haben; es sollte keine existenzielle Abhängigkeit von den Stromimporten entstehen, die eine Anwendung von politischer und militärischer Gewalt zur Sicherung der Lieferungen erforderlich machen könnte; wegen der hohen Investitionen wird ein großer ökonomischer Druck entstehen, die Anlagen mit größtmöglicher Volllaststundenzahl zu betreiben, wodurch Windenergie- und Solarstromanlagen im Land möglicherweise häufiger abzuregeln und somit wirtschaftlich schlechter gestellt sind.

Bei den Speichertechnologien genauso wie bei der zeitlichen Flexibilisierung der Energie verbrauchenden Prozesse besteht ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

8.2 Anpassung Niedertemperaturwärme

Raumwärme dominiert zurzeit mit einem Anteil von 85,0 Prozent den Verbrauch an Niedertemperaturwärme mit Temperaturen unter 100°C und bildet mit 27,5 Prozent vom gesamten Endenergieverbrauch einen der größten Einzelposten in der deutschen Energiebilanz¹¹⁶.

Der durchschnittliche Heizwärmebedarf des deutschen Gebäudebestands im Jahr 2007 kann mit etwa 150 kWh pro Quadratmeter und Jahr angesetzt werden^{117,118,119}. Es wird angenommen, dass bis zum Erreichen des 100%-Zieles die eine Hälfte des Gebäudebestandes durch moderne Bauten im Passivhaus-Standard (15 kWh/m²/a) ersetzt und die andere Hälfte durch Sanierung auf Niedrigenergie-Standard (70 kWh/m²/a) gebracht werden kann¹²⁰. Unter diesen Bedingungen hätte der gesamte Gebäudebestand dann einen durchschnittlichen Heizenergiebedarf von 42,5 kWh pro Quadratmeter und Jahr, das sind 28,3 Prozent vom Raumwärme-Verbrauch im Jahr 2007.

Im Szenario ist die Produktion von Niedertemperaturwärme mit einem Abdeckungsgrad von 47,8 Prozent wesentlich höher angesetzt worden¹²¹, als dies für die Bereitstellung von genügend Raumwärme erforderlich wäre.

Mit dem pauschalen Aufschlag soll folgenden Sachverhalten Rechnung getragen werden, ohne diese hier im Einzelnen zu quantifizieren: Zum einen

*Verbrauchsminderung
durch Passivhäuser*

wird wegen eingeschränkter Einsparmöglichkeiten bei Warmwasser in diesem Bereich von einer moderateren Verbrauchsminderung ausgegangen, als bei der Raumwärme. Zum anderen werden verlustbehaftete Saisonwärmespeicher benutzt zur Bereitstellung der hauptsächlich im Sommer anfallenden Solarwärme für den Winter; überwiegend große, gut gedämmte unterirdische Wärmespeicher, die jeweils über ein Nahwärmenetz mit den umliegenden Gebäuden und Wärmequellen verbunden sind. Die Machbarkeit wurde im Rahmen des Energieforschungsprogramms 'Solarthermie 2000' vom Bundesforschungsministerium mit einer Reihe von Demonstrationsanlagen nachgewiesen¹²².

Das heißt, dass mit den heute bereits im Breitereinsatz befindlichen Technologie-Standards 'Niedrigenergiehaus' und 'Passivhaus' die erforderliche Verbrauchsminderung bei Niedertemperaturwärme vollständig durch Effizienzsteigerung erbracht werden kann, wobei der heutige Wohnkomfort erhalten bleibt bzw. sogar noch steigt. Die Materialien für die Wärmedämmung können leicht auf nachwachsende bzw. wenig energieintensive und kreislauffähige Rohstoffe umgestellt werden, auch dafür sind erprobte Technologien verfügbar.

Da es sich um langfristige Investitionen mit einer Nutzungsdauer über viele Jahrzehnte handelt, ist hier eine frühzeitige und zielgerichtete Vorgehensweise von besonderer Bedeutung, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Dagegen ist jede Neubau- und Sanierungsmaßnahme, die hinter dem zukunftsfähigen Standard zurück bleibt, eine verpasste Chance.

8.3 Anpassung Prozesswärme

Mit einem Anteil von heute 18,5 Prozent vom gesamten Endenergieverbrauch ist die Prozesswärme mit Temperaturen größer 100 °C zwar der kleinste Einzelposten in der deutschen Energiebilanz¹²³. Allerdings sind die Potenziale für biogene Brennstoffe, mit denen sich die zurzeit größtenteils eingesetzten fossilen Brennstoffe einfach ersetzen ließen, sehr begrenzt. Auch die Möglichkeit, über konzentrierende Solaranlagen Prozesswärme zu erzeugen, ist in Niedersachsen wegen der erforderlichen direkten Sonnenstrahlung und der vergleichsweise geringen Sonnenscheindauer wenig zielführend.

Bleibt der vermehrte Einsatz von Strom zur Prozesswärmeerzeugung. Wegen der hervorragenden Eigenschaften der elektrischen Energie dürfte das aus technologischer Sicht für die meisten Nutzungen hochwillkommen sein. Je weniger Strom und Brennstoffe für Niedertemperaturwärme und im Verkehr aufgewendet werden muss, desto mehr bleibt für hochwertige Anwendungen wie zum Beispiel Prozesswärme. Mit den im Szenario gewählten Ziel-Ansätzen wird bei der Prozesswärme, genau wie beim Strom, ein Abdeckungsgrad von gut 70 Prozent des heutigen Verbrauchs erreicht.

81,1 Prozent der Prozesswärme insgesamt und sogar 87,4 Prozent der Prozesswärme aus Brennstoffen entfallen heute auf den Industriesektor, der hier exemplarisch betrachtet wird¹²⁴. Folgende Maßnahmen kommen in Betracht, um die erforderliche Verbrauchsminderung bei Prozesswärme um 30 Prozent zu erreichen:

1. Steigerung der Energieeffizienz durch weitere konsequente Optimierung der Herstellungsprozesse.
2. Bevorzugter Einsatz wenig energieaufwändiger Stoffe - zum Beispiel Holz- statt Stahlbetonkonstruktionen beim Bau, Wärmedämmung aus nachwachsenden Rohstoffen und Altpapier anstelle erdölbasierter Kunststoffe.
3. Verlängerte Nutzungsdauer der Produkte - durch eine Verdoppelung beispielsweise könnte die Menge der jährlich zu produzierenden und zu verteilenden Investitions- und Gebrauchsgüter halbiert und damit auch der Energiebedarf stark gesenkt werden, was bei entsprechender Konstruktion in vielen Bereichen durchaus möglich erscheint.
4. Intensivere Nutzung der hergestellten Produkte - das Muster Carsharing ist beispielsweise auch im Heimwerkerbereich gut vorstellbar.
5. Verstärktes Recycling macht einen Teil der ursprünglich zur Herstellung erforderlichen Energie wieder nutzbar.

Damit erscheint auch das Verminderungsziel bei Prozesswärme ohne größere Einschränkungen der Annehmlichkeiten, die die Industriegesellschaft heute zu bieten hat, durchaus erreichbar. Rohstoffsparende Maßnahmen sind überdies nicht nur aus energetischer Sicht, sondern auch wegen der Verknappung zahlreicher Rohstoffe unausweichlich.

*Verbrauchsminderung
durch längere
Nutzung der Produkte*

Eine Herausforderung ist die Anpassung der Produktion an das stark wechselnde Energieangebot. Entscheidend wird sein, dass alle Prozesse, die nicht unbedingt auf Kontinuität angewiesen sind, modulierbar gestaltet werden und so in ihrem Durchsatz dem Energieangebot folgen können; damit werden verlustbehaftete und kostspielige Energiespeicher entbehrlich. Bei den gleichmäßig zu fahrenden und zeitkritischen Prozessen müssen für Zeiten mit Energie-Untergebot entsprechende Speicherkapazitäten vorgehalten und die durch Speicherverluste verminderte Energiebereitstellung in Kauf genommen werden.

8.4 Anpassung Antriebe im Verkehr

Mit 24,4 Prozent vom gesamten Endenergieverbrauch zählt auch der Straßenverkehr heute zu den größten Einzelposten in der deutschen Energiebilanz¹²⁵, er dominiert mit einem 82,2 Prozentanteil den Verkehrssektor¹²⁶. Rund eine Hälfte davon (47,8 Prozent) entfallen zurzeit auf Ottomotoren, die andere Hälfte auf Dieselmotoren¹²⁷.

Im Szenario ist die weitgehende Umstellung auf wesentlich effizientere Elektroantriebe vorgesehen, deren Aufnahme an elektrischer Energie aus Akkumulator oder Brennstoffzelle für die gleiche Fahrleistung bei nur etwa 28 Prozent des Verbrauchs

heutiger Verbrennungsmotoren liegt^{128,129} (die Verluste der Stromspeicher sind in dieser Betrachtung ausgeklammert, aber im Szenario berücksichtigt). Weitere Einsparmöglichkeiten sind hierbei noch nicht einmal berücksichtigt, wie zum Beispiel durch leichtere Fahrzeuge oder Verlagerung eines Teils des Transportbedarfs auf die Schiene.

Bei dem großen Anteil des Straßenverkehrs am gesamten Energieverbrauch im Verkehrssektor von heute 82,2 Prozent wären zur Erbringung der gegenwärtigen Verkehrsleistung nur noch 30 Prozent der Antriebsenergie erforderlich. Mit einer Reduzierung der Verkehrsleistung um 10 Prozent, beispielsweise bei Verkehrsvermeidung durch längere Nutzungsdauer der Produkte und mehr verbrauchernahe Produktion, dürfte ein künftiger Abdeckungsgrad bei Energie für mobile Antriebe von 27 Prozent völlig ausreichend sein, selbst wenn im Schienenverkehr, bei der Luftfahrt und in der Binnenschifffahrt derartig hohe Einsparungen nicht zu erreichen sind.

Damit erscheint auch die Verbrauchsminderung im Verkehrsbereich allein durch Effizienzsteigerung als durchaus machbar, wobei erheblicher Entwicklungsbedarf für die Fahrzeug-, Akkumulator- und Wasserstoff-Technologie besteht.





9 ➔ Agenda 100%

Was zu tun ist für den Umbau der niedersächsischen Energiesysteme, hin zur bilanziellen Selbstversorgung mit Energie aus erneuerbaren Quellen - eine Skizze der wesentlichen Umbaumaßnahmen und Entwicklungsthemen als Schlussfolgerung aus dem beschriebenen Szenario (vgl. Tab. 2: Energie und Abb. 3: Energieverwendung; 2007 ist das Referenzjahr für alle auf den gegenwärtigen Status bezogenen Angaben):

9.1 Umbau Strom

Die herkömmlichen Stromanwendungen in der Industrie, im Dienstleistungssektor und in den privaten Haushalten kommen mit 70 Prozent des gegenwärtigen Stromverbrauchs aus, dies dürfte

unter Vermeidung größerer Einschränkungen für die Gesellschaft durch eine Reihe verschiedener Maßnahmen erreicht werden können:

Die Einsparpotenziale durch effizientere elektrische Antriebe, Pumpen, Kühleinrichtungen usw. werden ausgeschöpft; die bisher bereits mit Strom erzeugte

Prozesswärme wird ebenfalls auf 70 Prozent gesenkt (siehe Kapitel 8.3 Anpassung Prozesswärme); Niedertemperaturwärme-Erzeugung mit Strom in elektrischen Raumheizungen und Heißwasserbereitern wird ersetzt durch Solar- und Umgebungswärme; die elektrische Beleuchtung wird vollständig auf effiziente Leuchtstoff- und Energiesparlampen

oder LED umgestellt; Fernsehgeräte, Personalcomputer und Server werden durch die sparsamsten heute verfügbaren Geräte ersetzt; es werden nur noch Geräte ohne nennenswerte Bereitschaftsverluste zugelassen; die Senkung der Produktionsrate durch längere Nutzungsdauer und intensivere Nutzung der Produkte wirkt sich auch durch einen Rückgang im Stromverbrauch für elektrische Antriebe, Beleuchtung und Informations-/Kommunikationsgeräte aus.

Um einen Teil der heute eingesetzten fossilen Brennstoffe zu ersetzen, kommen zu den herkömmlichen Stromanwendungen weitere neue hinzu: Die Umstellung des Straßenverkehrs auf elektrische Antriebe bewirkt für die Wasserstoffelektrolyse einen Mehrverbrauch von 35 Prozent bezogen auf den heutigen Gesamtstromverbrauch, und für die Ladung der Fahrzeug-Akkumulatoren noch einmal 31 Prozent. Die Brennstoffsubstitution bei Prozesswärme verursacht eine weitere Erhöhung des Stromverbrauchs um 24 Prozent, dazu kommen noch 5 Prozent Antriebsenergie für die Wärmepumpen zur Gewinnung von Umgebungswärme. Damit ist insgesamt ein Strombedarf zu decken, der dann bei 170 Prozent des heutigen Stromverbrauchs liegt.

Die Bereitstellung des Stromes wird komplett auf regenerative Energien umgestellt, die heute noch überwiegend fossilen und atomaren Kraftwerke werden dadurch überflüssig. Windenergie wird mit 62 Prozent an der gesamten Stromerzeugung den größten Beitrag liefern, gefolgt von Photovoltaik mit 35 Prozent, Biogasverstromung mit 1,6 Prozent, Wasserkraft mit 0,5 Prozent und Holzverstromung mit 0,4 Prozent.

Erhöhter Strombedarf durch Umstellung auf elektrische Antriebe und Prozesswärme

Dazu wird die Energieproduktion aus Windenergie auf das 4,5-fache gegenüber 2007 gesteigert, das beruht im Wesentlichen auf drei Maßnahmen:

1. Ausweitung der Windparkflächen Onshore von heute 0,6 Prozent der Landesfläche auf 1,6 Prozent im Rahmen geordneter Raumordnungsverfahren und unter Minimierung der visuellen und akustischen Belastungen. Gezielte Förderung von Modellen mit vorrangiger Beteiligung der in der Nähe von Windparks lebenden Bevölkerung zur Steigerung der Akzeptanz.
2. Um 31 Prozent gesteigerter Energieertrag durch Bau höherer Türme zur Erschließung von Luftschichten mit größeren Windgeschwindigkeiten, die durchschnittliche Nabenhöhe liegt dann bei 120 Metern.
3. Teilhabe am Ausbau der deutschen Offshore-Windenergie in Nord- und Ostsee mit einem Anteil von knapp 10 Prozent (im Verhältnis der Einwohnerzahlen), daraus resultiert ein Offshore-Anteil von 25 Prozent am gesamten niedersächsischen Windstrom.

Die Energieproduktion aus Photovoltaik wird auf das 58-fache von 2007 ausgebaut, neben einem leicht erhöhten Wirkungsgrad der Module und Umformer wird dies hauptsächlich durch Ausweitung der Solarflächen erreicht: Zum einen werden alle die solar geeigneten Dachflächen, die nicht mit Flachkollektoren belegt sind, für Photovoltaik genutzt (siehe Kapitel 9.2 Umbau Raumwärme und Warmwasser). Zum anderen werden zusätzlich Freiflächen (Überbauung von Verkehrsflächen, Deponien usw.) in einer Größe belegt, die noch einmal den solar geeigneten Dachflächen entspricht. Die solar beanspruchten Freiflächen haben dann gerade einmal einen Anteil von 4 Prozent an den Gebäude- und Freiflächen (Siedlungsflächen) und weniger als 0,28 Prozent der gesamten Landesfläche Niedersachsens.

Die jährliche Energiemenge aus Biogas-Verstromung wird zugunsten der direkten Nutzung für Prozesswärmeerzeugung zurück gefahren auf 28 Prozent gegenüber 2007, dafür wird allerdings wegen geringerer Energieerträge nach Umstellung auf ökologische Kreislaufwirtschaft (siehe Kapitel 9.3 Umbau Prozesswärme) noch 50 Prozent der Energiepflanzen-Anbaufläche von 2007 belegt. Für die Überbrückung von Strom-Mangelphasen

werden die Blockheizkraftwerke von Grundlastkraftwerken zu Reservekraftwerken aufgewertet, sie erhalten zu dem Zweck eine wesentlich höhere Maschinenleistung, die kurzfristig abrufbar und für Intervallbetrieb geeignet ist, dazu kommen entsprechend groß dimensionierte Biogasspeicher. Zur vollen Nutzung der stoßweise anfallenden Abwärme wird jedes Blockheizkraftwerk an ein Nahwärmenetz angeschlossen, worüber in den zugehörigen Saisonspeicher eingespeist werden kann.

Die Stromproduktion aus Wasserkraft wird durch Repowering bestehender Kraftwerke und durch Neubau - unter Ausschöpfung des ökologisch Vertretbaren und von der Infrastruktur her Möglichen - um 50 Prozent erhöht.

*Ein Drittel mehr
Energie durch höhere
Windenergieanlagen*

Die jährliche Energiemenge aus Holz-Verstromung wird wegen der begrenzten Holzmengen (siehe Kapitel 9.3 Umbau Prozesswärme) und der Nutzungskonkurrenzen zurück gefahren auf 58 Prozent gegenüber 2007. Auch die Holz-Heizkraftwerke werden zur Überbrückung von Strom-Mangelphasen als Reservekraftwerke ausgelegt, sie erhalten zu dem Zweck eine wesentlich höhere Maschinenleistung, die innerhalb weniger Stunden abrufbar und für Intervallbetrieb geeignet ist. Zur vollen Nutzung der stoßweise anfallenden Abwärme wird jedes Holzheizkraftwerk an ein Nah- bzw. Fernwärmenetz angeschlossen, worüber in den zugehörigen Saisonspeicher eingespeist werden kann.

Entscheidend ist die Anpassung des Stromnetzes an die veränderten Anforderungen: Das heutige Leitungsnetz in der Fläche bietet bereits gute Ausgangsvoraussetzungen für die direkte Verbindung von dezentralen Erzeugern und Verbrauchern auf kurzem Weg. Bestimmte Leitungen auf Nieder- und Mittelspannungsebene werden entsprechend den Erfordernissen größerer Einspeiser, wie Windparks oder Solarfelder, und größerer Verbraucher, wie Fahrzeug-Ladestationen und Industrie mit hohem Strombedarf für Prozesswärme, verstärkt. Bestimmte, heute auf Großkraftwerke hin ausgerichtete Hochspannungstrassen hingegen verlieren mit deren Abschaffung an Bedeutung und werden entsprechend zurück gebaut.

Die heute für die Speicherung von Erdgas genutzten unterirdischen Kavernen werden zu

Stromspeichern in Druckluft-, Wasserstoff- beziehungsweise Methantechnologie umfunktioniert. Dies setzt allerdings voraus, dass die unterirdischen Speicherpotenziale nicht durch Endlagerung von abgedichtetem CO₂ oder sonstigen Schadstoffen blockiert werden. Eine Erschließung weiterer Speicherkapazitäten ist mit massiven Eingriffen in die Umwelt verbunden und darf nur nach sorgfältiger Planung im Rahmen von ordentlichen Umweltverträglichkeitsprüfungen durchgeführt werden.

Das europäische Höchstspannungsnetz wird für den Ausgleich momentaner Überangebote

mit gleichzeitigen Unterangeboten im europäischen Raum zu einem „Supergrid“ umgerüstet, soweit dies ökonomisch sinnvoll ist.

Durch anteilige Nutzung der europäischen Potenziale an Pumpspeicherkraft, zum Beispiel in Norwegen, kann ein erheblicher Beitrag zur erforderlichen Regelleistung

erbracht werden. Voraussetzung dafür ist zum einen die Beachtung der Umweltbelange und zum anderen entsprechende Netzverbindungen. Ein wichtiger Baustein ist das NorGer-Kabel von Kristiansand in Norwegen in die Wesermarsch, das 2015 in Betrieb gehen soll.

Hochspannungstrassen als Ableitung von Offshore-Windparks, unterirdischen Stromspeichern oder Pumpspeicherkraftwerken werden aus- oder neu gebaut und vorrangig als Erdkabel ausgeführt, über längere Distanzen wird die verlustärmere Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung eingesetzt. Zur Ergänzung der Eigenerzeugung in den Ballungszentren werden die Netze mit strahlenförmigen Sammelleitungen ins Umland verstärkt.

Es wird mit Hilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnologien ein umfassendes Last- und Erzeugermanagement aufgebaut, das zu jedem Zeitpunkt einen Lastausgleich zwischen Energieangebot und Energieverbrauch weitgehend automatisch regelt und so für stabile Netzverhältnisse sorgt.

9.2 Umbau Raumwärme und Warmwasser

Zu etwa gleichen Teilen wird der Gebäudebestand gemäß Niedrigenergiehaus-Standard saniert oder durch Neubauten gemäß Passivhaus-Standard ersetzt, das führt zu einem reduzierten Raumwär-

mebedarf von weniger als 30 Prozent, bei gleich bleibender Wohn- bzw. Gewerbefläche und eher gestiegenem Komfort. Mit Erhöhung der Sanierungs- und Neubaurate von heute in Summe etwa 3 Prozent auf 5 Prozent jährlich würden für diese grundlegende Maßnahme nicht mehr als 20 Jahren benötigt. Die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser wird von Brennstoffen und Strom umgestellt auf einen Mix von 64 Prozent Solarwärme, 30 Prozent Umgebungswärme und etwas Abwärme aus der Holz- und Biogas-Verstromung.

Auf 42 Prozent der für solare Nutzung geeigneten Dachflächen werden dazu Flachkollektoren installiert, das ist die 40-fache Fläche gegenüber dem Referenzjahr 2007. Zur Bereitstellung der hauptsächlich im Sommer anfallenden Solarwärme für den Winter werden Saisonwärmespeicher errichtet; überwiegend große, gut gedämmte unterirdische Wasserspeicher, die jeweils über ein Nahwärmenetz mit den umliegenden Gebäuden und Wärmequellen verbunden sind.

Auf 2 Prozent der Freiflächen in Siedlungsgebieten werden zur Gewinnung von Umgebungswärme Erdkollektoren oder Erdwärmesonden eingebracht, das entspricht dem 34-fachen der heute bereits belegten Fläche. Elektrische Wärmepumpen werden in entsprechendem Umfang installiert, um die Umgebungswärme auf ein nutzbares Temperaturniveau zu bringen; sie werden mit dafür geeigneten Wärmespeichern verbunden, mit erhöhter Anschlussleistung auf den Betrieb in Starkwindphasen ausgelegt und an das Lastmanagement angeschlossen.

Die vorhandenen Öfen und Kessel zur Raumwärme- und Warmwasser-Erzeugung, in denen heute eine nicht zukunftsfähige Holzmenge von 48,3 Prozent des gesamten jährlichen Holzzuwachses in Niedersachsen verbrannt wird, werden nicht mehr gebraucht und sukzessive rückgebaut.

9.3 Umbau Prozesswärme

Die Herstellungsprozesse in der Industrie, im Dienstleistungssektor und in den privaten Haushalten kommen mit 70 Prozent der heutigen Prozesswärme aus, dies wird ohne größere Einschränkungen für die Gesellschaft durch ein Bündel verschiedener Maßnahmen erreicht: Die Potenziale zur Effizienzsteigerung in den Produktionsprozessen werden ausgeschöpft, die Produktion wo möglich auf wenig energieaufwändige Ausgangsstoffe umgestellt, die Produkte auf längere Nutzungsdauer ausgelegt, die Nutzungs-

Durch beschleunigte Gebäudesanierung und Neubau im Passivhaus-Standard ist Verminderungsziel in 20 Jahren erreichbar

intensität durch gemeinschaftliche Nutzung erhöht, auf diese Weise die erforderlichen Produktionsmengen vermindert und der Warenstrom verlangsamt, schließlich wird die Recycling-Quote gesteigert und so im Material enthaltene Energie weiter in Nutzung gehalten.

Ein Teil der heute zu 81 Prozent auf fossilen Brennstoffen basierenden Prozesswärmeerzeugung wird auf Strom umgestellt, so dass dieser mit 59 Prozent den größten Anteil übernimmt. Die übrige Prozesswärme wird durch Verbrennung von Holz, Stroh und Biogas zu etwa gleichen Teilen gewonnen.

Vom jährlichen Holzzuwachs in den Wäldern Niedersachsens werden dafür dann 25 Prozent verwendet, zuzüglich der in Heizkraftwerken verstromten Menge werden insgesamt 30 Prozent des Zuwachses energetisch genutzt. Damit wird die heute unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit überhöhte Holznutzung für energetische Zwecke von 63 Prozent des Zuwachses, die auf einem nicht mit dem Selbstversorgungsprinzip vereinbaren Importüberschuss basiert, auf ein vertretbares Maß zurück geführt.

Vom gesamten Strohanfall auf einer gegenüber heute unveränderten Getreideanbaufläche werden dann 25 Prozent eingesetzt, während zurzeit in Niedersachsen noch keine nennenswerte energetische Nutzung zu verzeichnen ist. Auch dieser Wert wurde bewusst moderat angesetzt, um den dauerhaften Erhalt der Bodenfruchtbarkeit nicht zu gefährden und den steigenden Bedarf für stoffliche Nutzung zu berücksichtigen.

Auf Prozesswärme entfällt dann mit 50 Prozent der größte Anteil vom gesamten Biogasaufkommen aus Energiepflanzen, die auf 13 Prozent der niedersächsischen Agrarfläche angebaut werden. Der Energiepflanzenanbau wird komplett auf ökologische Kreislaufwirtschaft umgestellt, um die Bodenfruchtbarkeit ohne Zufuhr begrenzter Rohstoffe auf Dauer zu erhalten. Mais-Monokultur wird abgelöst durch Mehrkultur-Nutzungssysteme. Dafür wird eine Halbierung der Energieerträge in Kauf genommen. Mit der geringfügigen Erhöhung gegenüber dem heutigen Anteil von 11,7 Prozent wird der Vordringlichkeit der Erzeugung von Nahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen Rechnung getragen.

Um Verluste bei der Energiespeicherung zu vermeiden, werden vor allem die stark stromabhängigen Produktionsprozesse wo möglich so gestaltet, dass der Durchsatz und damit die Energieaufnahme an das wechselnde Energieangebot anpassbar ist. Als Grundlage für eine vorausschau-

ende Produktionsplanung werden die Prognoseverfahren für Wind- und Solarstrom weiter ausgebaut.

9.4 Umbau Verkehr

Straßen- und Schienenverkehr werden zum größten Teil auf elektrischen Antrieb umgestellt, durch Wegfall der hohen Verluste heutiger Diesel- und Ottomotoren sinkt die erforderliche Antriebsenergie auf etwa 30 Prozent gegenüber heute. Zusammen mit einer um 10 Prozent verminderten Verkehrsleistung liegt die erforderliche Antriebsenergie dann bei nur noch 27 Prozent. Der Energiemix im Verkehrsbereich besteht dann zu 61 Prozent aus Strom von Akkumulatoren bzw. vom Fahrdrat im Schienenverkehr, zu 29 Prozent aus Strom von Brennstoffzellen, 7 Prozent aus Pflanzenöl-Produkten und ein kleiner Rest aus Biomethan.

Dazu wird der größte Teil des Fahrzeugparks sukzessive durch Elektrofahrzeuge ersetzt und die heutigen Tankstellen werden mit Ladesteckdosen, Wasserstoff-Elektrolysegeräten, Wasserstoff-Tanks und Wasserstoff-Zapfstellen zu Fahrzeug-Ladestationen umgerüstet, möglicherweise erweitert um Akku-/Brennstoffzellen-Leihstationen. Die Leistung der Wasserstoff-Elektrolysegeräte und das Fassungsvermögen der Wasserstofftanks werden darauf ausgelegt, Stromüberschuss in windstarken Phasen aufzunehmen und für energiearme Zeiten vorzuhalten. Einer besseren Speicherbarkeit und einfachen Handhabbarkeit könnte die Veredelung des Wasserstoffs zu Methan (Methanisierung) zugute kommen, wobei noch zu klären ist, wie viel von dem dafür erforderlichen CO₂ aus regenerativen Quellen dauerhaft verfügbar sein könnte. Ein Teil des heutigen Straßen-Güterfernverkehrs könnte außerdem auf die Schiene verlagert werden, um die Zahl benötigter Akkus zu senken.

Die Pflanzenölproduktion wird auf einer gegenüber heute gleich bleibenden Fläche von 5,2 Prozent der gesamten Agrarfläche betrieben, aber auf ökologische Kreislaufwirtschaft umgestellt, um die Bodenfruchtbarkeit ohne Zufuhr begrenzter Rohstoffe auf Dauer zu erhalten. Für das im Verkehrsbereich verwendete Biogas mit einem Anteil von 5 Prozent an der Biogasproduktion kommen noch 0,65 Prozent Anbaufläche hinzu; Pflanzenöl und Biogas werden vorwiegend zur Herstellung von Flugtreibstoff genutzt. Die heute praktizierte

Zukunftsfähiger Straßen- und Schienenverkehr durch Elektrifizierung

Beimischung von Pflanzenölprodukten zu Mineralkraftstoffen, die wegen hoher Palmöl-Importe rechnerisch eine Anbaufläche von 179 Prozent der tatsächlichen Anbaufläche im Land erfordert, ist mit Umstellung auf Elektroantriebe gegenstandslos geworden, die Import- und Raffinerie-Kapazitäten werden rückgebaut.

9.5 Forschung und Entwicklung

Die für den Umbau erforderlichen Technologien sind zum überwiegenden Teil bereits verfügbar, doch es besteht noch erheblicher Bedarf für Forschung und Entwicklung zur weiteren Optimierung bezüglich Effizienz, Herstellungsaufwand, Umweltschonung, Breitereinsatztauglichkeit usw.:

1. **Saisonspeicher / Nahwärmesysteme** für Solar-, Umgebungs- und Abwärme: Minimierung der Speicher- und Transportverluste; Minimierung des Materialaufwands; Optimierung von Platzbedarf und Montagefreundlichkeit; Weiterentwicklung der PCM¹³⁰- und Latentspeichertechnik speziell für die Kombination mit Umgebungswärme / Wärmepumpen.
2. **Photovoltaik-Systeme:** Entwicklung ökologisch verträglicherer Produktionsprozesse für die PV-Module; Minimierung der energetischen Amortisationszeit, beispielsweise durch Alternativen zum Aluminium für Rahmen und Montagegestelle; Fokussierung auf Systeme, die nicht von der Verfügbarkeit seltener Rohstoffe abhängen.
3. **Windenergieanlagen:** Minimierung von Schallemissionen und visuellen Störungen (z. B. Befeuern); umweltverträglichere Produktionsverfahren und Umstellung auf dauerhaft verfügbare Materialien (z. B. Rotorblätter unter Verwendung nachwachsender Rohstoffe).
4. **Holz-/Strohverbrennung** in industriellen Prozessen: Prozessumstellung, Minimierung der Schadstoffemissionen; Verfahren zur Rückführung der mineralhaltigen Asche zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit.
5. **Energiepflanzen / Biogasanlagen:** Optimierung der Anbauverfahren für einen dauerhaften Erhalt der Bodenfruchtbarkeit in ökologischer Kreislaufwirtschaft und Minimierung der Zufuhr betriebsfremder Stoffe; Biogas-Großspeicher zur Speisung von Spitzenlastkraftwerken als Reserve bei Strommangel; die Themen Alkoholerzeugung und thermische Verwertung erscheinen aus heutiger Sicht nicht zielführend und werden nicht weiter forciert.
6. **Ölpflanzen:** Entwicklung von Anbauverfahren für einen dauerhaften Erhalt der Bodenfruchtbarkeit in ökologischer Kreislaufwirtschaft und Minimierung der Zufuhr betriebsfremder Stoffe.
7. **Umgebungswärme / Wärmepumpen:** Maximierung der Jahresarbeitszahlen; Verfahren zur sicheren Vermeidung von Schäden durch die Bohrtechnik; Ermöglichung einer Angebotssteuerung durch erhöhte Wärmepumpen-Leistung und Ankoppelung an geeignete Niedertemperatur-Wärmespeicher auf PCM-Basis beispielsweise.
8. **Wasserstoff-Elektrolyse / Brennstoffzelle** für Elektromobile: Effizienzsteigerung von Hochdruck-Elektrolyse und Brennstoffzelle; Breitereinsatzreife für praxistaugliche Wasserstoff-Tankstellen, Wasserstoff-Tanks und langlebige Brennstoffzellen; optional Standardisierung der Tank-/Brennstoffzelleneinheit als Plug-In-Modul für einfachen Tausch gegen Akkusatz.
9. **Wasserstoff-Methanisierung** alternativ zur Verwendung des reinen Wasserstoffs für Elektromobile, falls ausreichend Kohlendioxid verfügbar gemacht werden kann; Optimierung des Methanisierungs-Wirkungsgrades; Effizienzsteigerung der Methan-geeigneten Brennstoffzellen.
10. **Elektromobile / Akkumulatoren:** Erhöhung der Reichweite durch energiesparende Fahrzeuge in Leichtbauweise und Steigerung der Akku-Energiedichte; Optimierung der Brandsicherheit der Akkus; Ertüchtigung der Akkus für praxistaugliche Schnellladung; alternativ dazu Standardisierung der Akkusätze als Plug-In-Modul für einfachen Tausch gegen geladenen Akkusatz oder gegen Wasserstoffmodul für Fernfahrten; Verfahren für Lithium-Recycling-Quoten nahe 100 Prozent; Suche nach einer Alternative zum Lithium-Ionen-Akku, die nicht auf seltene Rohstoffe angewiesen sind; energiesparende Konzepte für Klimatisierung der Fahrgastzellen, durch Wärmedämmung beispielsweise.

11. **Prozesswärme:** Energetische Optimierung der Produktionsprozesse in der Industrie, dem Dienstleistungsbereich und im Haushalt; Optimierung der Produktionsprozesse hinsichtlich einer flexibleren Anpassbarkeit des Durchsatzes an das aktuelle Energieangebot; Verfahren für den Ersatz von energieaufwändigen Stoffen wie Aluminium, Stahl oder Zement; Produkt-Optimierung hin zu verlängerter Gebrauchsdauer, Instandsetzbarkeit, Wiederverwendbarkeit der Teile oder Stoffe.
12. **Stromnutzung:** Effizienzsteigerung von elektrischen Antrieben, Pumpen, Kühleinrichtungen, Haushaltsgeräten, Beleuchtung, Informations- und Kommunikationsgeräten; Senkung des Strombedarfs analog zum Prozesswärmebedarf (siehe oben); Breitereinsatztauglichkeit für Langzeit-Energiespeicher, u. a. auf Wasserstoff-, Batterie-, Druckluft- und Pumpspeicherbasis; Schaffung der technischen Voraussetzungen für ein umfassendes Lastmanagement auf Basis von Energieangebots-Prognosen.



10 ↻ Endnoten

- 1 Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb, Universität für Bodenkultur in Wien; „Wie Energieversorgung zukunftsfähig gestaltet werden kann“; Vortrag am 17.09.2010 in Hannover. [46]
- 2 Thomas Seltmann, Energy Watch Group; „Vom Überfluss zur Knappheit“; Energiedepesche 3/09, S. 28 [1]
- 3 Michael Odenwald; „Die Kohledämmerung“; erschienen am 15.01.2010 in FOCUS [2]
- 4 Dr. Malte Meinshausen, Potsdam-Institut für Klimafolgenabschätzung PIK; „Auf dem Weg zum Einstellen der Emissionen...“; Pressemitteilung vom 15.10.2009. [50]
- 5 Einzelheiten dazu siehe Kapitel 9 Agenda 100%.
- 6 Anstelle des häufig verwendeten Begriffs ‚Batterie‘ wird hier der technisch präzisere Begriff ‚Akkumulator‘ bzw. die Kurzform ‚Akku‘ für wiederaufladbare elektrochemische Speicher benutzt.
- 7 Eine MWh entspricht 1000 kWh. Eine GWh entspricht 1 Million kWh.
- 8 Angenommen wird eine Abnahme der Bevölkerung um 13%, Erläuterungen dazu siehe Kapitel 5 Energiebedarf
- 9 Das Szenario wurde mit ‚100prosim‘ erstellt, einem Simulationswerkzeug für 100%-Erneuerbare-Energie-Regionen, verfügbar unter www.wattweg.net. Auf eine weitergehende Rundung der kalkulierten Werte wird im Interesse der Nachvollziehbarkeit verzichtet.
- 10 Erläuterungen dazu siehe Kapitel 6 Energieproduktion und 7 Energiebereitstellung
- 11 Erläuterungen dazu siehe Kapitel 8 Energieverbrauch
- 12 Der zeitliche Ausgleich zwischen Energieangebot und Energiebedarf wurde in diesem Szenario zunächst qualitativ betrachtet, eine spätere Quantifizierung der erforderlichen Regelenergie und Energiespeicher ist vorgesehen.
- 13 Der Exportanteil von 27 Prozent resultiert aus der Annahme, dass von der Fläche Niedersachsens der gesamte direkte und indirekte Energieverbrauch so vieler Einwohner zu decken ist, wie bei durchschnittlicher deutscher Bevölkerungsdichte dort leben würden (127 Prozent der heutigen Einwohnerzahl).
- 14 Siehe Kapitel 5 Energiebedarf
- 15 Kontakt für Interessierte: Niedersächsische Landtagsfraktion Bündnis90/Die Grünen, Referat für Atom und Energie, siehe auch: <http://bit.ly/energieszenario-niedersachsen>
- 16 Vgl. Kapitel 8 Energieverbrauch
- 17 Über Waren importierte und exportierte ‚graue Energie‘ sowie der Treibstoff für Flugverkehr außerhalb Deutschlands waren im Rahmen dieser Studie nicht bewertbar und müssen deshalb unberücksichtigt bleiben; eine ergänzende Betrachtung zu einem späteren Zeitpunkt ist vorgesehen.
- 18 Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen: „12. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung“; 2008. [45]: Bevölkerungsstand Niedersachsen zum 31.12.2007: 7.971.684, Prognose für 2050: 6.632.000 entsprechend einer Abnahme von 16,8 %.
- 19 Statistisches Bundesamt Deutschland destatis; „12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung“; 2009. [44]
Variante 1, Mittelwert aus den Untervarianten W1 mit einem Wanderungssaldo von 100.000 und W2 mit 200.000 Personen pro Jahr: Status 2007: 82.218.000; W1 2050: 69.412.000; W2 2050: 73.608.000; Mittelwert 2050: 71.510.000.
- 20 Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; „Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2007“ im Stand vom 01.09.2009, Tabelle „Endenergieverbrauch“. [3]
- 21 Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt; „Maßstab Energieverbrauch“; 11.07.2010. [32], Zeile 26: 38,2 % Anteil Prozesswärme an gesamter Wärmebereitstellung aus Brennstoffen (exklusive der aus Strom), 61,8 % Niedertemperaturwärme.
Verwendete Datengrundlage: [33] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.; „Endenergieverbrauch in Deutschland 2007“; 12.2008 im Stand vom 28.07.2009.
- 22 Siehe Kapitel 7.4 Niedertemperaturwärme aus Strom.
- 23 Solarförderverein e. V.; „Bundesweite monatliche Stromertragsdaten von PV-Anlagen“. [4], Recherchedatum 26.03.2010: Regionaler Durchschnitt für Niedersachsen (PLZ-Gebiete 2.... und 3....) und die Bodenseeregion (PLZ-Gebiet 78...) in 2007.
- 24 Bene Müller, solarcomplex GmbH; „Erneuerbare Energien in der Region Hegau / Bodensee - Übersicht der technisch verfügbaren Potentiale“; 2001. [5], Seite 41 ff., unter Berufung auf eine Publikation des Öko-Instituts Freiburg.
- 25 Statistische Ämter des Bundes und der Länder; „Regionaldatenbank Deutschland“; Online-Angebot. [6]
Tabelle 449-01-4: Gebäude- und Freiflächen im Landkreis Konstanz am 31.12.2004: 6393 Hektar.
- 26 [6], Tabelle 449-01-4 zum 31.12.2004
- 27 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; „Erneuerbare Energien in Zahlen“; 06.06.2008 [7] als Basis für eigene Berechnungen zum Anteil der Solarnutzung an Gebäude- und Freifläche in Deutschland 2007: 0,042 % Wärme und 0,121 % Strom, zusammen 0,163 %.
- 28 Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Quaschnig; „Energieaufwand zur Herstellung regenerativer Anlagen“; Internetrecherche am 30.11.2010. [47]
- 29 [5], Seite 46: Jährliche Energieerträge solarthermischer Anlagen von 400 kWh/m²/a im Landkreis Konstanz, auf niedersächsische Verhältnisse angepasst mit einem relativen Energieertrag von 86 Prozent (siehe oben).

Grünes Energieszenario für Niedersachsen – Endnoten

- 30 Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt, Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Streicher, Dr.-Ing. Andreas Wiese; „Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte“, 2006. [8], Seite 193; zum Vergleich: Jährl. Energieerträge solartherm. Anlagen im deutschen Durchschnitt bis 1200 MJ entsprechend 333,6 kWh pro Quadratmeter.
- 31 Siehe Kapitel 8.2 Anpassung Niedertemperaturwärme.
- 32 [47] Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Quaschnig; „Energieaufwand zur Herstellung regenerativer Anlagen“; Internetrecherche am 30.11.2010.
- 33 [8], Seite 272-273: 838 Millionen Quadratmeter technisches Dachflächenpotenzial und die darauf installierbare Leistung von 116 GW ergeben einen spezifischen Flächenbedarf von 7,2 Quadratmeter pro kW Peak.
- 34 [5], Seite 42.
- 35 Bundesnetzagentur; „EEG-Statistikbericht 2007“; 31.07.2009 [10], Seite 9.
- 36 [47] Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Quaschnig; „Energieaufwand zur Herstellung regenerativer Anlagen“; Internetrecherche am 30.11.2010.
- 37 Landkreis Nienburg/Weser; „Änderung des Regionalen Raumordnungsprogramms 2003 - Teilabschnitt Windenergie“, Änderungsentwurf gemäß Beschluss des Kreisausschusses vom 21.09.2009. [11]
- 38 Cord Fehsenfeld, Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt; „Windkraft im Landkreis Nienburg“, 07.02.2010. [12]
- 39 [12], Absatz 113
- 40 [12], Absatz 26
- 41 [12], Absatz 35
- 42 [12], Absatz 35
- 43 [12], Absatz 46 ff.
- 44 [12], Absatz 60, 59
- 45 [10], Seiten 9 und 17.
- 46 Siehe „Status der Windenergie-Nutzung in den Landkreisen Niedersachsens“ im Anhang, auf Basis der folgenden Studie: Bernd Neddermann, Jan Raabe, Till Schorer, Deutsches Institut für Windenergie (DEWI); „Potenzialabschätzung der EEG-Einspeisung im Bundesland Niedersachsen - Kurzfassung“; erstellt im Auftrag der eon-Netz GmbH, 31.07.2010. [51]
- 47 Eine vollständige Auflistung der Landkreise gemäß [51] im Anhang „Status der Windenergie-Nutzung in den Landkreisen Niedersachsens.“
- 48 Janine Schmidt; „Erneuerbare Energien 2020 - Potenzialatlas Deutschland“; herausgegeben von der Agentur für Erneuerbare Energien e. V.; November 2009 [13], Seite 16 - 17
- 49 Die aus dem Ansatz in [13] resultierende Volllaststundenzahl von 3.700 erscheint unrealistisch hoch (37 Milliarden kWh Jahresenergieproduktion von 10.000 MW bis 2020 installierter Offshore-Leistung).
M. Müller; „Der Schwindel mit den Offshore Windparks“; 01.09.2008 [14] enthält beispielsweise Belege dafür, dass die durchschnittliche Volllaststundenzahl deutscher Offshore-Parks eher bei 3.000 liegen dürfte.
- 50 [8], Seite 340
- 51 9,7 Prozent Bevölkerungsanteil Niedersachsens an der Gesamteinwohnerzahl Deutschlands (82.218.000).
- 52 Nach Angaben von Carlo Reeker, stellvertretender Geschäftsführer Bundesverband WindEnergie e. V..
- 53 Prof. Dr. Joachim Grawe; „Energieermtfaktoren bei der Erzeugung elektrischer Energie“; Internetrecherche am 30.11.2010. [48]
- 54 Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Burkhard Horlacher; „Globale Potenziale der Wasserkraft“; Expertise für den wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung, 2003. [15], Seite 11.
- 55 [6], Tabelle 449-01-4, zum 31.12.2004.
- 56 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; „Bundeswaldinventur2“; abgeschlossen 2002; Recherche 27.10.2009.[16],
Tabelle 2.09.18: Zuwachs des Vorrates pro Hektar nach Land und Baumartengruppe für 1987-2002.
- 57 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; „Merkblatt 12: Der Energiegehalt von Holz und seine Bewertung“; 12.2007- [17], eigene Berechnungen: Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt: „Holz - Basisdaten für 100%-Szenarien“; Stand: 19.3.2010. [18], Absatz 13.
- 58 Eigene Berechnungen [18], Absatz 14 auf Basis von [16].
- 59 [17].
- 60 Statistische Ämter des Bundes und der Länder; „Regionaldatenbank Deutschland“; Online-Angebot. [6]
- 61 Matthias Dieter, Hermann Englert; „Abschätzung des Rohholzpotenzials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland“; Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft; 07.2001.[19]. eigene Berechnungen [18], Absatz 25.
- 62 Eigene Berechnungen [18], Absatz 77 auf Basis von Veröffentlichungen des Umweltministeriums [7], des Landwirtschaftsministeriums [16] und der statistischen Ämter des Bundes und der Länder [6].
- 63 Eigene Berechnungen [18], Absatz 39 ff. auf Basis verschiedener Quellen.
- 64 Rechnerisch bei vollständiger Wärmeabnahme: 7,4 (36,6), tatsächlich dürfte ein erheblicher Teil der Holzkraftwerke 2007 aber noch ohne oder mit Teilwärmenutzung gefahren worden sein, daher der frei geschätzte niedrigere Ansatz.
- 65 [6], Tabelle 115-02-4, Jahr 2007, Recherche am 02.09.2009.
- 66 Julia Münch; „Nachhaltig nutzbares Getreidestroh in Deutschland“; Positionspapier des Instituts für Energie und Umweltforschung Heidelberg (ifeu), Juli 2008. [20].
- 67 Martin Bensmann; „Stroh vergolden“; erschienen im Organ des Bundesverbandes für Erneuerbare Energien ‚neue energie‘ 03.2006, Seite 54 ff.[21], Seite 56
- 68 Sophia Kiesewalter, Dr. habil. Christian Röhrich: „Brennstoff Getreidestroh - Stand und Perspektiven der energetischen Nutzung“; herausgegeben vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie 10.2008. [22]
- 69 Abschätzung nach Daten der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.(FNR); „Biogas Basisdaten Deutschland“ (Band 185); 10.2008. [23] : Ertrag aus einer Tonne Rindergülle: 25 Kubikmeter Biogas mit einem Methangehalt von 60 Prozent entsprechend 15 Kubikmeter Methan mit einem Energiegehalt von 10 kWh pro Kubikmeter entsprechend einem Energieinhalt von 150 kWh. Jährlicher Gülleanfall pro Rind zwischen 7,5 und 21 Kubikmeter, Annahme hier 15 Kubikmeter entsprechend 15 Tonnen mit einem Energieinhalt von 2250 kWh. Unter Annahme eines Viehbesatzes von 0,8 Rindern pro Hektar Futteranbaufläche ergibt sich ein jährlicher Energieertrag aus Viehwirtschaft mit Rindern von 1,8 MWh pro Hektar.

Grünes Energieszenario für Niedersachsen – Endnoten

- 70 Abschätzung nach Daten von [23]: Jährlicher Ertrag Grassilage: 7200 Tonnen Frischmasse von 200 Hektar entsprechend 36 Tonnen pro Hektar. Bei einer Biogasausbeute von 172 Kubikmeter pro Tonne Grassilage mit einem Methangehalt von 54 Prozent können jährlich 3.344 Kubikmeter Methan pro Hektar Grasland gewonnen werden, bei einem unteren Heizwert von 10 kWh pro Kubikmeter Methan entspricht das einer Energiemenge von 33,4 MWh pro Hektar und Jahr.
- 71 [6], Tabelle 449-01-4, Recherche am 02.09.2009.
- 72 [6], Tabelle 449-01-4, Recherche am 02.09.2009
- 73 Prof. Dr. Stefan Gäth; "Biogas: Wie viele Treibhausgase können wir sparen?"; Vortragspräsentation vom 11.03.2010. [49]
- 74 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR); „Biogas Basisdaten Deutschland“ (Band 185); 10.2008. [23]
- 75 Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL); „Biogaserzeugung im ökologischen Landbau“ (KTBL-Heft 65); 2007. [24], Seite 34 ff, Aufsatz von Dr. Rüdiger Graß, Mitarbeiter bei Prof. Scheffer an der Universität Witzenhausen.
- 76 [5], Seite 67: Die dort für Biogasespeiste BHKW angegebenen Wirkungsgrade von 30 Prozent elektrisch und 36 Prozent thermisch spiegeln den heutigen Stand der Technik.
- 77 [23], Wirkungsgrade moderner Aggregate: 30% bis 45% elektrisch (Ansatz: 35%) und 35% bis 45% thermisch (Ansatz: 45%).
- 78 Herbert Tretter; „Schweden - Biogas als leitungsgebundener Energieträger und Kraftstoff für Fahrzeuge“; Beitrag im Online-Angebot der österreichischen Energieagentur; Recherche 11.03.2010. [25]: Verluste bei Aufbereitung und Hochdruckverdichtung zur Verwendung als Treibstoff: 5% bis 7% (Ansatz: 6%).
- 79 [6], Tabelle 449-01-4, Recherche am 02.09.2010.
- 80 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; „Erneuerbare Energien in Zahlen“; 06.06.2008. [7], S. 14; Energie aus eingesetzten biogenen Flüssigbrennstoffen in Deutschland 2007: 2.590 GWh Strom, 34.389 GWh Biodiesel, 8.750 GWh Pflanzenöl.
- 81 Daraus mit oben ermittelten Energieerträgen und Einwohnerzahl (82.218.000) deutsche Pro-Kopf-Werte für die rechnerisch beanspruchte Anbaufläche (Winterraps) in Quadratmeter: 67 für Strom, 336 für Treibstoffe.
- 82 Daraus mit Einwohnerzahl Niedersachsen (7.971.684) die rechnerisch von Niedersachsen beanspruchte Anbaufläche (Winterraps) in Hektar: 53.530 für Strom, 267.477 für Treibstoffe.
- 83 [8], S. 410: Jährlich dem Boden entziehbare Wärmemenge: 360 Megajoule pro Quadratmeter entsprechend 100 kWh pro Quadratmeter bzw. 1000 MWh pro Hektar.
- 84 Jens Schuberth, Helmut Kaschenz; „Elektrische Wärmepumpen - eine erneuerbare Energie? Wie ist die Umweltbilanz elektrischer Wärmepumpen im Vergleich zu anderen Heizungssystemen?“, Umweltbundesamt 29.05.2008. [26] : In Feldtests wurden für ab 1995 installierte Erdreich-gespeiste Anlagen in Niedrigenergiehäusern (max. Vorlauftemp. 40° C) Jahresarbeitszahlen von im Mittel 3,8 gemessen, dieser Wert wird konservativ für die Zukunft angesetzt. Für den heutigen Gesamtbestand wird wegen des Anteils an weniger effizienten Altanlagen eine Jahresarbeitszahl von 3,0 angesetzt.
- 85 [8], S. 452: „...ist nur ein Drittel der Gebäude- und Freiflächen (...) technisch verfügbar (...) Aufgrund weiterer Effekte sind (...) nur rund 40% auch tatsächlich nutzbar.“ Das entspricht einem maximalen Nutzungsgrad der Gebäude- und Freiflächen von 13 Prozent.
- 86 [6], Tabelle 449-01-4: Gebäude- und Freiflächen in Niedersachsen am 31.12.2004: 332.812 Hektar.
- 87 [7], S. 14. Energie aus oberflächennaher Geothermie in Deutschland 2007: Im Jahr 2007 wurden deutschlandweit 2139 GWh Wärme aus Umgebungswärme mittels Wärmepumpen bereitgestellt. Mit dem durchschnittlichen Energieertrag des heutigen Anlagenbestandes (s. oben) ergibt das eine beanspruchte Fläche von 1.426 Hektar, bezogen auf 2.393.800 Hektar Gebäude- und Freiflächen sind dies 0,060 Prozent.
- 88 [8], Seite 106.
- 89 BINE Informationsdienst; „basisEnergie 3 - Photovoltaik“; Dezember 2007; FIZ Karlsruhe GmbH; ISSN1438-3802.[27] Seite 2: „In Mitteleuropa liegt die Energie der Einstrahlung, bezogen auf eine horizontale Fläche, bei ca. 1000 kWh pro Quadratmeter und Jahr entsprechend einer Durchschnittsleistung von 114 Watt“.
- 90 [8], Seite 486.
- 91 Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt; „Geothermie in 100% Erneuerbare Energie-Regionen“; 04.10.2009. [28], Seite 2 ff.
- 92 [28], Anhang B, Seite 4.
- 93 Martin Pehnt, Ulrich Höpfner; „Wasserstoff- und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien: Analyse der kurz- und mittelfristigen Perspektive“; Kurzugutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); ifeu-Institut; Mai 2009. [29], Seite 21, Wirkungsgrade nach dem Technologiestand 2010: Fortgeschrittene alkalische Hochdruck-Elektrolyse: 57 bis 64 % (inklusive Speicherung 92% und Transport 95 %), Fahrzeug-Brennstoffzelle inklusive E-Motor und Rekuperator: 38 bis 41 %, Wirkungsgrad über die gesamte Kette 21,66 bis 26,24 %. Bei verbrauchernaher Erzeugung entfallen die Transportverluste, daraus ergibt sich ein Wirkungsgrad für Elektrolyse und Speicherung von 60 bis 67,4 %. Bei einem angenommenen Wirkungsgrad für E-Motor und Rekuperator von 90 % ergibt sich für die Brennstoffzelle allein ein Wirkungsgrad von 42,2 bis 45,6 %, für die gesamte Kette Strom - Wasserstoff - Strom 25,3 bis 30,7 %.
- 94 Dr. Ulf Bossel; „Wasserstoff löst keine Energieprobleme“; erschienen in „Technologiefolgenabschätzung - Theorie und Praxis“ No. 1, 15. Jahrgang; April 2006. [30], Seite 30: 56 % Verlust für Wasserstoffelektrolyse an Tankstellen einschließlich Wasseraufbereitung, Kompression, Gebäudeenergiebedarf usw. bezogen auf die Energie des erzeugten Wasserstoffs, dazu kommt ein Wirkungsgrad von 50 % für die Rückverstromung in Brennstoffzellen, zusammen ergibt das für die gesamte Kette Strom - Wasserstoff - Strom einen Wirkungsgrad von 32,1 %.
- 95 J. Schindler u. a. ; „Wasserstoff und Brennstoffzellen - starke Partner erneuerbarer Energiesysteme“; 2. überarbeitete Auflage 2008; Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband / LBS Ludwig Bölkow Stiftung GmbH. [31], Seite 22: Künftig erwartete Wirkungsgrade von 35 bis 40 % für Hochdruckelektrolyse und Fahrzeug-Brennstoffzellen über die Wandlungskette Strom - Wasser - Strom.
- 96 Verfügbare Strommenge (71.470 GWh/a) entspricht der Energieproduktion Strom abzüglich der Antriebsenergie Wärmepumpen (siehe Tab. 2, Seite 3).
- 97 T. Klaus/C. Vollmer/K. Werner/H. Lehmann/K. Müschen, Umweltbundesamt; „Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen“; Vorabdruck für die Bundespressekonferenz am 7. Juli 2010.[42], Seite 47 ff: eE-Methan-Speichersystem - Wirkungsgrad für die Methanisierung liegt bei 75 bis 85%., durch Rückgewinnung eines Teils der Abwärme ist bereits ein Wirkungsgrad von 82% erreicht worden, mit Upscaling sind voraussichtlich 85% möglich.
- 98 [29], Seite 21, Lade-/Entlade-Wirkungsgrade stationär (die Angaben speziell für Verkehr sind unvollständig, dürften aber auf vergleichbarem Niveau liegen): Bleiakku von 65% bis 79%, Lithium-Ionen-Akku von 90% bis 95%.

Grünes Energieszenario für Niedersachsen – Endnoten

- 99 Verfügbare Strommenge (71.470 GWh/a) entspricht der Energieproduktion Strom abzüglich der Antriebsenergie Wärmepumpen (siehe Tab. 2, Seite 3).
- 100 [32] , Auswertung der Studie [33] : 41,2 % Anteil Prozesswärme >100°C an gesamter Wärmebereitstellung in Deutschland 2007, 58,8 Niedertemperaturwärme <100°C (Absatz 23).
- 101 [32] : 87,1 % mit Brennstoffen bereitgestellten Prozesswärme >100°C in Deutschland 2007, 12,9 Prozent mit Strom (Absatz 24).
- 102 [32] , Absatz 35 (Auswertung [33]).
- 103 Verfügbare Strommenge (71.470 GWh/a) = Energieproduktion Strom - Antriebsenergie Wärmepumpen (siehe Tabelle 2).
- 104 Da das Energieangebot in einer 100%-Erneuerbare-Energie-Region Niedersachsen wesentlich unter dem heutigen Verbrauch liegen wird, ist auch von einer reduzierten NT-Wärmebereitstellung auszugehen, wodurch ein Teil der elektrischen Wärmebereitstellung bereits entfällt. Aus diesem Grund kann nur die verbleibende, aus Strom bereitgestellte Wärmemenge mit einem Deckungsanteil von 1,2 Prozent durch andere Energien ersetzt werden, und nicht der gesamte heutige Anteil von 2,7 Prozent.
- 105 Siehe Kapitel 5 Energiebedarf.
- 106 Der Begriff Negawatt wurde von dem bekannten Nachhaltigkeits-Vordenker Amory B. Lovins geprägt für Energie, die eingespart wird und nicht erzeugt werden muss.
- 107 Siehe Kapitel 4 Das Szenario im Überblick, Tab. 2: Energie.
- 108 Ernst-Ulrich von Weizsäcker, Amory B. Lovins und L. Hunter Lovins; „FAKTOR VIER - Doppelter Wohlstand, halbiertes Naturverbrauch“; Bericht an den Club of Rome, 1995/1997 Knauer. [34] In seinem neuesten Werk „FAKTOR FÜNF“ geht er sogar noch einen Schritt weiter.
- 109 [32] , Absatz 50: 22,2 % Anteil Strom am gesamten Endenergieverbrauch Deutschland 2005.
- 110 [32] , Absatz 52, 55.
- 111 Siehe Kapitel 7.3 Prozesswärme aus Strom und Tab. 2: Energie.
- 112 Helmut Kaschütz u.a., Umweltbundesamt; „Stromsparen: weniger Kosten, weniger Kraftwerke, weniger CO₂“; 24.08.2007. [40], Seite 18: 110 Mrd. kWh jährliches Stromeinsparpotenzial in Deutschland durch heute bereits wirtschaftliche Maßnahmen zur effizienten Stromverwendung mit Amortisationszeiten unter 10 Jahren (die meisten zwischen 2 und 4 Jahren); das sind 20,8 Prozent des gesamten Stromverbrauchs im Jahr 2005 von 528 Mrd. kWh.
- 113 Eine detailliertere Betrachtung der Speicherschemata für Deutschland ist enthalten in einer Publikation des Sachverständigenrates für Umweltfragen; „100% erneuerbare Stromversorgung bis 2050: klimaverträglich, sicher, bezahlbar“; Mai 2010; ISSN 1612-2968. [41] , Seite 58 ff.
- 114 Nagler, N.; Lohrengel, A.; Schäfer, G.; „Untertägige Pumpspeicherkraftwerke – Ein neuer Weg der Energiespeicherung“; TU Clausthal, IMW – Institutsmitteilung Nr. 34; 2009. [43]
- 115 Hydro Oil & Energy; „Utsira wind power and hydrogen plant“; Inauguration July 1, 2004. [43]
- 116 [32] , Absatz 35: Raumwärme hatte 2007 in Deutschland einen Anteil von 27,5 % am gesamten Endenergieverbrauch und 85 % an der Niedertemperaturwärme.
- 117 Gemeinnützige Wohnungsfürsorge AG München; „Energiebericht der GEWOFAG 2008“.[35] , Seite 6: „... lag der Heizwärmebedarf der deutschen Wohnhäuser im Jahr 2002 durchschnittlich bei etwa 160 kWh/m²/a, und damit unverändert seit 1990! Die bis 31. Januar 2002 geltende Wärmeschutzverordnung (WSVO 95) schrieb für Neubauten einen Heizwärmebedarf von 54 bis 100 kWh/m²/a vor.“
- 118 ENBAUSA / Stephan Kohler; „Dena will 5 Milliarden für Sanierungsprogramm der KfW“; 08.02.2010. [36] : „...so lasse sich die Sanierungsquote von derzeit 1 auf die notwendigen 2,5 Prozent pro Jahr erhöhen...“. Unter der Annahme, dass von 2002 bis 2007 5 Prozent des Gebäudebestandes in Deutschland saniert und der Heizwärmebedarf im Mittel auf 80 kWh/m²/a gesenkt wurde, dürfte dies zu einer Senkung des durchschnittlichen Heizwärmebedarfs auf 156 kWh/m²/a geführt haben.
- 119 Andreas Hermelink; „Das mehrfach ausgezeichnete SOLANOVA-Konzept der Universität Kassel macht energetische Sanierungen von Altbauten wirtschaftlich rentabel“; Universität Kassel; 23.05.2007. [37] : „...einer gegenwärtigen Neubaureate von unter einem Prozent...“. Unter der Annahme, dass von 2002 bis 2007 5 Prozent des Gebäudebestandes durch Neubauten mit einem mittleren Heizwärmebedarf von 60 kWh/m²/a ersetzt wurde, dürfte dies zu einer weiteren Senkung des durchschnittlichen Heizwärmebedarfs auf 151,2 kWh/m²/a geführt haben, konservativ wird ein noch etwas besserer Wert von 150 kWh/m²/a angenommen.
- 120 [35] , Seite 7: 70kWh/m²/a maximaler Jahresheizwärmebedarf beim Niedrigenergiehausstandard (nach EnEV2002), 15 kWh/m²/a beim Passivhaus-Energiestandard. Bei Steigerung der Neubau- und Sanierungsrate von 1% auf 2,5% jährlich wäre der gesamte Gebäudebestand in den 30er Jahren energetisch dauerhaft zukunftssicher.
- 121 Siehe Kapitel 4 Das Szenario im Überblick, Tab. 2: Energie.
- 122 [9] Prof. Dr. Dr.-Ing. habil. H. Müller-Steinhagen u. a.; „Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher“; Forschungsbericht zum BMWA / BMU-Vorhaben; Februar 2003 bis Mai 2005.
- 123 [32] , Absatz 27: 18,5 % Anteil Prozesswärme am gesamten Endenergieverbrauch Deutschland 2005.
- 124 [32] , Absatz 40: 81,1 % Anteil Industrie an Prozesswärme insgesamt und 87,4 % an Prozesswärme aus Brennstoffen Deutschland 2005.
- 125 [32] , Absatz 46.
- 126 [32] , Absatz 44: 82,2 % Anteil Straßenverkehr am Endenergieverbrauch im Verkehrssektor Deutschland 2005.
- 127 [32] , Absatz 47.
- 128 Benutzte Heizwerte: Ottokraftstoff 9,2 kWh/l (aus Heizwert 11,6 kWh/kg und Dichte 0,796 kg/l), Dieselloststoff 10,0 kWh/l (aus Heizwert 11,8 kWh/kg und Dichte 0,845 kg/l). Statistisches Bundesamt Deutschland destatis; „Trend zum spritsparenden Auto bremst Kraftstoffverbrauch“; 21.01.2010. [38] : „Der spezifische Verbrauch verminderte sich bei den Diesel-Pkw zwischen 2000 und 2008 von 7,1 auf 6,8 Liter, bei den Benzinern von 8,5 auf 8,0 Liter je 100 Kilometer.“ Das entspricht einem durchschnittlichen Endenergieverbrauch der deutschen PKW-Flotte von 67,8 kWh pro 100 km bei Dieselfahrzeugen und 73,9 kWh pro 100 km bei Fahrzeugen mit Ottomotor.
- 129 VDE; „Elektrofahrzeuge - Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf“; April 2010. [39] , S. 80: Geringerer Verbrauch durch höhere Effizienz des Antriebsstrangs (Elektrofahrzeug 15-20 kWh/100km). Konservativer Ansatz: 20 kWh/100km. Daraus resultiert ein verminderter Verbrauch ab Batterie bzw. Brennstoffzelle von 28,2 Prozent gegenüber den heutigen Verbrennungsmotoren (Ottomotoren 29,5 / Dieselmotoren 27,1) entsprechend einer 3,5-fachen Effizienz des Antriebsstranges (Ottomotoren 3,4 / Dieselmotoren 3,7), Übertragbarkeit auf LKW wird unterstellt.
- 130 PCM steht für Phase Change Material; Wärmespeicher auf dieser Basis beruhen auf der Energie, die beim Phasenübergang geeigneter Stoffe von flüssig nach fest freigesetzt wird, nachdem sie vorher als Schmelzwärme eingespeichert wurde.



11 → Quellen

Angegeben sind die zum Recherche-Zeitpunkt benutzten Hyperlinks, durch Änderungen der Informations-Anbieter können sie ihre Funktionsfähigkeit verlieren.

- [1] Thomas Seltmann, Energy Watch Group; „Vom Überfluss zur Knappheit“; Energiedepesche 3/09, S. 28.
- [2] Michael Odenwald: „Die Kohledämmerung“; erschienen am 15.01.2010 in FOCUS.
http://www.focus.de/wissen/wissenschaft/wissenschafts-dossiers/tid-16863/zukunft-der-energie-die-kohledaemmerung_aid_470744.html
- [3] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; „Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2007“ im Stand vom 01.09.2009, Tabelle „Endenergieverbrauch“.
<http://www.ag-energiebilanzen.de/>
- [4] Solarförderverein e. V.; „Bundesweite monatliche Stromertragsdaten von PV-Anlagen“.
http://www.pv-ertraege.de/cgi-bin/pvdaten/src/region_uebersichten_auswahl.pl/gr
- [5] Bene Müller, solarcomplex GmbH; „Erneuerbare Energien in der Region Hegau / Bodensee - Übersicht der technisch verfügbaren Potentiale“; 2001.
<http://www.solarcomplex.de/info/service/download.php>
- [6] Statistische Ämter des Bundes und der Länder; „Regionaldatenbank Deutschland“; Online-Angebot.
<https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/logon>
- [7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; „Erneuerbare Energien in Zahlen“; 06.06.2008.
http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen.pdf
- [8] Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt, Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Streicher, Dr.-Ing. Andreas Wiese; „Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte“, 2006.
- [9] Prof. Dr. Dr.-Ing. habil. H. Müller-Steinhagen u. a.; „Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher“; Forschungsbericht zum BMWA / BMU-Vorhaben; Februar 2003 bis Mai 2005.
<http://www.swt-stuttgart.de/SWT-Forschung/Veroeffentlichungen/Puplic/05-04.pdf>
- [10] Bundesnetzagentur; „EEG-Statistikbericht 2007“; 31.07.2009
http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/133746/publicationFile/1748/StatistikberichtEEG2007_Id17185pdf.pdf
- [11] Landkreis Nienburg/Weser; „Änderung des Regionalen Raumordnungsprogramms 2003 - Teilabschnitt Windenergie“, Änderungsentwurf gemäß Beschluss des Kreisausschusses vom 21.09.2009.
<http://www.lk-nienburg.de/internet/page.php?typ=2&site=1000144>
- [12] Cord Fehsenfeld, Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt; „Windkraft im Landkreis Nienburg“, 07.02.2010.
http://skn.privat.t-online.de/wattweg/files/LK_NI_RROPwind20100207.pdf

- [13] Janine Schmidt; „Erneuerbare Energien 2020 - Potenzialatlas Deutschland“; herausgegeben von der Agentur für Erneuerbare Energien e. V.; November 2009
- [14] M. Müller; „Der Schwindel mit den Offshore Windparks“; 01.09.2008
<http://klimakatastrophe.wordpress.com/2008/09/01/der-schwindel-mit-den-offshore-windparks/>
- [15] Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Burkhard Horlacher; „Globale Potenziale der Wasserkraft“; Expertise für den wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung, 2003.
http://www.wbgu.de/wbgu_jg2003_ex03.pdf
- [16] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; „Bundeswaldinventur2“; abgeschlossen 2002; Recherche 27.10.2009.
<http://www.bundeswaldinventur.de/>
- [17] Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; „Merkblatt 12: Der Energiegehalt von Holz und seine Bewertung“; 12.2007
http://www.lwf.bayern.de/publikationen/daten/merkblatt/p_31579.pdf
- [18] Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt; „Holz - Basisdaten für 100%-Szenarien“; Stand: 19.3.2010.
<http://skn.privat.t-online.de/wattweg/files/Holz100319.pdf>
- [19] Matthias Dieter, Hermann Englert; „Abschätzung des Rohholzpotenzials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland“; Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft; 07.2001.
http://www.bfafh.de/bibl/pdf/iii_01_11.pdf
- [20] Julia Münch; „Nachhaltig nutzbares Getreidestroh in Deutschland“; Positionspapier des Instituts für Energie und Umweltforschung Heidelberg (ifeu), Juli 2008.
http://ifeu.de/landwirtschaft/pdf/IFEU_Positionspapier_Stroh.pdf
- [21] Martin Bensmann; „Stroh vergolden“; erschienen im Organ des Bundesverbandes für Erneuerbare Energien 'neue energie' 03.2006, Seite 54 ff.
- [22] Sophia Kiesewalter, Dr. habil. Christian Röhrich; „Brennstoff Getreidestroh - Stand und Perspektiven der energetischen Nutzung“; herausgegeben vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie 10.2008.
http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/3935_1.pdf
- [23] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.(FNR); „Biogas Basisdaten Deutschland“ (Band 185); 10.2008.
<http://www.bioenergie-portal.info/index.php?id=2790&idtitel=185&idkat=1500&pflanzen=0&verarbeitung=0&gruppen=0&level=0&spezial=0&titelsuche=>
- [24] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL); „Biogaserzeugung im ökologischen Landbau“ (KTBL-Heft 65); 2007.
- [25] Herbert Tretter; „Schweden - Biogas als leitungsgebundener Energieträger und Kraftstoff für Fahrzeuge“; Beitrag im Online-Angebot der österreichischen Energieagentur; Recherche 11.03.2010.
<http://www.energytech.at/biogas/results.html?id=4064&menulevel1=3&menulevel2=4>
- [26] Jens Schuberth, Helmut Kaschenz; „Elektrische Wärmepumpen - eine erneuerbare Energie? Wie ist die Umweltbilanz elektrischer Wärmepumpen im Vergleich zu anderen Heizungssystemen?“, Umweltbundesamt 29.05.2008.
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3192.pdf>
- [27] BINE Informationsdienst; „basisEnergie 3 - Photovoltaik“; Dezember 2007; FIZ Karlsruhe GmbH; ISSN1438-3802.
http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Basis_Energie/Basis_Energie_Nr_03/Basis_03_internetx.pdf
- [28] Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt; „Geothermie in 100% Erneuerbare Energie-Regionen“; 04.10.2009.
<http://skn.privat.t-online.de/wattweg/files/Geothermie.pdf>
- [29] Martin Pehnt, Ulrich Höpfner; „Wasserstoff- und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien: Analyse der kurz- und mittelfristigen Perspektive“; Kurzugutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); ifeu-Institut; Mai 2009.
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ifeu_kurzstudie_elektromobilitaet_wasserstoff.pdf
- [30] Dr. Ulf Bossel; „Wasserstoff löst keine Energieprobleme“; erschienen in "Technologiefolgenabschätzung - Theorie und Praxis" No. 1, 15. Jahrgang; April 2006.
<http://www.efcf.com/reports/D06.pdf>
- [31] J. Schindler u. a. ; „Wasserstoff und Brennstoffzellen - starke Partner erneuerbarer Energiesysteme“; 2. überarbeitete Auflage 2008; Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband / LBS Ludwig Bölkow Stiftung GmbH.
<http://www.dvw-info.de/publikationen/2008/partner2.pdf>
- [32] Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt; „Maßstab Energieverbrauch“; 11.07.2010.
<http://skn.privat.t-online.de/wattweg/files/Massstab100711.pdf>
- [33] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.; „Endenergieverbrauch in Deutschland 2007“; 12.2008 im Stand vom 28.07.2009.
<http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=65>
- [34] Ernst-Ulrich von Weizsäcker, Amory B. Lovins und L. Hunter Lovins; „FAKTOR VIER - Doppelter Wohlstand, halbiertes Naturverbrauch“; Bericht an den Club of Rome, 1995/1997 Knauer.
- [35] Gemeinnützige Wohnungsfürsorge AG München; 'Energiebericht der GEWOFAG 2008'.
<http://www.gewofag.de/us/start.asp?hm=3&page=377>

Grünes Energieszenario für Niedersachsen – Quellen

- [36] ENBAUSA / Stephan Kohler; „Dena will 5 Milliarden für Sanierungsprogramm der KfW“; 08.02.2010.
<http://www.enbausa.de/finanzierung-beratung/aktuelles/artikel/dena-will-5-milliarden-fuer-sanierungsprogramm-der-kfw-954.html>
- [37] Andreas Hermelink; „Das mehrfach ausgezeichnete SOLANOVA-Konzept der Universität Kassel macht energetische Sanierungen von Altbauten wirtschaftlich rentabel“; Universität Kassel; 23.05.2007.
http://www.innovations-report.de/html/berichte/architektur_bauwesen/bericht-84757.html
- [38] Statistisches Bundesamt Deutschland destatis; „Trend zum spritsparenden Auto bremst Kraftstoffverbrauch“; 21.01.2010.
http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/STATmagazin/Umwelt/2010_01/2010_01Kraftstoffverbrauch,templateId=renderPrint.psm
- [39] VDE; „Elektrofahrzeuge - Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf“; April 2010.
<http://www.vde.com/de/InfoCenter/Seiten/Details.aspx?eslShopItemID=21f73d14-ad26-4188-a62e-0793af440806>
- [40] Helmut Kaschenz u.a., Umweltbundesamt; „Stromsparen: weniger Kosten, weniger Kraftwerke, weniger CO₂“; 24.08.2007.
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3191.pdf>
- [42] T. Klaus/C. Vollmer/K. Werner/H. Lehmann/K. Müschen, Umweltbundesamt; „Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen“; Vorabdruck für die Bundespressekonferenz am 7. Juli 2010.
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3997.pdf>
- [43] Nagler, N.; Lohrengel, A.; Schäfer, G.; „Untertägige Pumpspeicherkraftwerke – Ein neuer Weg der Energiespeicherung“; TU Clausthal, IMW – Institutsmitteilung Nr. 34; 2009.
http://www.imw.tu-clausthal.de/fileadmin/Forschung/InstMitt/2009/155-164_PSW_nn.pdf
- [44] Statistisches Bundesamt Deutschland destatis; „12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung“; 2009.
<https://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,Warenkorb.csp&action=basketadd&id=1024891>
- [45] Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen; „12. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung“; 2008.
<http://www.lsk.niedersachsen.de/download/51669>
- [46] Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb, Universität für Bodenkultur in Wien; „Wie Energieversorgung zukunftsfähig gestaltet werden kann“; Vortrag am 17.09.2010 in Hannover.
http://www.fes.de/niedersachsen/common/pdf/doku/einzelveranstaltungen/2010/09_17_energie/09_17_10_0_Kromp-Kolb.pdf
- [47] Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Quaschnig; „Energieaufwand zur Herstellung regenerativer Anlagen“; Internetrecherche am 30.11.2010.
<http://www.volker-quaschnig.de/datserv/kev/index.php>
- [48] Prof. Dr. Joachim Grawe; „Energieerntefaktoren bei der Erzeugung elektrischer Energie“; Internetrecherche am 30.11.2010
<http://www.energie-fakten.de/html/erntefaktor.html>
- [49] Prof. Dr. Stefan Gäth; „Biogas: Wie viele Treibhausgase können wir sparen?“; Vortragspräsentation vom 11.03.2010
http://www.landschaft-nutzen.de/pdf/Gaeth_Symposium_2010_03_11.pdf
- [50] Dr. Malte Meinshausen, Potsdam-Institut für Klimafolgenabschätzung PIK; „Auf dem Weg zum Einstellen der Emissionen...“; Pressemitteilung vom 15.10.2009.
http://www.pik-potsdam.de/aktuelles/pressemitteilungen/2-grad-ziel-erfordert-mehr-als-50-prozent-reduzierung-bis-2050?set_language=de
- [51] Bernd Neddermann, Jan Raabe, Till Schorer, Deutsches Institut für Windenergie (DEWI); „Potenzialabschätzung der EEG-Einspeisung im Bundesland Niedersachsen - Kurzfassung“; erstellt im Auftrag der eon-Netz GmbH, 31.07.2010.



12 ☉ Anhang



Status der Windenergie-Nutzung in den Landkreisen Niedersachsens

Kreis / Stadt	Leistung Windenergie [MW] ¹				Erntefläche [ha] ²			Fläche [ha] ³	Erntefl./Landkreisfl. [%] ⁴		
	In Betrieb	Restpotenzial	Geplant	Repoweringpot.	In Betrieb	Restpotenzial	Geplant	Landkreisfl. gesamt	In Betrieb	Betr. + Restpotenzial	Betr. + Rest. + Geplant
Emden, Stadt	145			12	725	0	0	11.235	6,45	6,45	6,45
Aurich	539	112	132	59	2.695	560	660	128.731	2,09	2,53	3,04
Wilhelmshaven, Stadt	47		8	7	235	0	40	10.691	2,20	2,20	2,57
Wittmund	212	46	53	96	1.060	230	265	65.665	1,61	1,96	2,37
Peine	167		32	50	835	0	160	53.486	1,56	1,56	1,86
Oldenburg, Stadt		29	18		0	145	90	10.297	0,00	1,41	2,28
Cuxhaven	463	89	24	256	2.315	445	120	207.255	1,12	1,33	1,39
Diepholz	489	17	9	40	2.445	85	45	198.771	1,23	1,27	1,30
Helmstedt	164		9	16	820	0	45	67.381	1,22	1,22	1,28
Stade	287		9	83	1.435	0	45	126.601	1,13	1,13	1,17
Emsland	534	86	150	168	2.670	430	750	288.180	0,93	1,08	1,34
Osterholz	44	85	18	11	220	425	90	65.077	0,34	0,99	1,13
Friesland	116	1	38	48	580	5	190	60.789	0,95	0,96	1,27
Wesermarsch	145	13	54	21	725	65	270	82.191	0,88	0,96	1,29
Nienburg ⁷	198	67	79	38	990	335	395	139.895	0,71	0,95	1,23
Oldenburg	131	63	28	33	655	315	140	106.306	0,62	0,91	1,04
Verden	115	8	30	14	575	40	150	78.777	0,73	0,78	0,97
Cloppenburg	197	19	40	34	985	95	200	141.828	0,69	0,76	0,90
Leer	161	2	41	63	805	10	205	108.604	0,74	0,75	0,94
Region Hannover	287	39	28	105	1.435	195	140	229.064	0,63	0,71	0,77
Vechta	110	4		17	550	20	0	81.265	0,68	0,70	0,70
Lüneburg	116	67	12	2	580	335	60	132.342	0,44	0,69	0,74
Northeim	37	131		13	185	655	0	126.706	0,15	0,66	0,66
Grafschaft Bentheim	115	11	10		575	55	50	98.078	0,59	0,64	0,69
Soltau-Fallingb.ostel	139	95	109	3	695	475	545	187.353	0,37	0,62	0,92
Uelzen	153	22	22	21	765	110	110	145.406	0,53	0,60	0,68
Rotenburg (Wümme)	191	43	64	29	955	215	320	207.011	0,46	0,57	0,72
Lüchow-Dannenberg	99	36	12	2	495	180	60	122.050	0,41	0,55	0,60
Osnabrück	198	22		3	990	110	0	212.159	0,47	0,52	0,52
Delmenhorst, Stadt	6	0	0	0	30	0	0	6.236	0,48	0,48	0,48
Wolfenbüttel	53	11	9		265	55	45	72.247	0,37	0,44	0,51
Celle	125	10	13	15	625	50	65	154.510	0,40	0,44	0,48
Hildesheim	89	12		15	445	60	0	120.577	0,37	0,42	0,42
Gifhorn	90	30	17	11	450	150	85	156.278	0,29	0,38	0,44
Hameln-Pyrmont	40	21	26	19	200	105	130	79.620	0,25	0,38	0,55
Schaumburg	34	14	4	16	170	70	20	67.558	0,25	0,36	0,38
Holzminen	44			12	220	0	0	69.250	0,32	0,32	0,32
Harburg	73		4	19	365	0	20	124.483	0,29	0,29	0,31
Ammerland	41	0	8	23	205	0	40	72.835	0,28	0,28	0,34
Wolfsburg, Stadt	5	6		4	25	30	0	20.403	0,12	0,27	0,27
Osnabrück, Stadt	6		10		30	0	50	11.980	0,25	0,25	0,67
Braunschweig, Stadt	7	0	1	0	35	0	5	19.215	0,18	0,18	0,21
Osterode	13			11	65	0	0	63.600	0,10	0,10	0,10
Goslar	17			4	85	0	0	96.521	0,09	0,09	0,09
Göttingen	15		50	13	75	0	250	111.763	0,07	0,07	0,29
Salzgitter, Stadt					0	0	0	22.390	0,00	0,00	0,00
Summe Nds.⁵	6.257	1.211	1.171	1.406	31.285	6.055	5.855	4.762.660	0,66	0,78	0,91
		10.045				43.195					
GES2.0 (Ziel)⁶		15.791				78.955		4.762.660		1,66	

Erläuterungen zur Tabelle

»Status der Windenergie-Nutzung in den Landkreisen Niedersachsens

- 1) Installierte Leistung aus Windenergie wurde der folgenden Studie entnommen: Bernd Neddermann, Jan Raabe, Till Schorer, Deutsches Institut für Windenergie (DEWI); "Potenzialabschätzung der EEG-Einspeisung im Bundesland Niedersachsen - Kurzfassung"; erstellt im Auftrag der eon-Netz GmbH, 31.07.2010. Es wurde der Bestand Ende 2009 erfasst. Das Restpotenzial umfasst das Potenzial, das sich durch vollständige Nutzung bestehender Wind-Vorrang-Standorte ergibt. Unter 'Geplant' ist das bis 2015 geplante Potenzial an neuen Standorten erfasst. Unter 'Repoweringpotenzial' wird die Leistungssteigerung durch Ersatz bestehender Anlagen kleiner 1,5 MW erfasst.
- 2) Mit Erntefläche wird die rechteckige Fläche horizontal um eine Anlage bezeichnet, die sich aus den Mindestabständen zwischen den Anlagen ergibt. Die Mindestabstände werden als n-faches des Rotordurchmessers angegeben. Typisch sind Mindestabstände von 5 Rotordurchmessern in Hauptwindrichtung und 3 Rotordurchmesser senkrecht dazu. Das Verhältnis zwischen Nennleistung der Anlage und Rotordurchmesser hängt von der Auslegung ab und ist daher Anlagenspezifisch. Auf Basis zweier Referenzanlagen wurden für die Schätzung der Erntefläche 5 ha/MW angenommen.

	Leistung	Rotor-Ø	Erntefl.	Erntefl./Leist.
Referenzanlage	[MW]	[m]	[ha]	[ha/MW]
E40	0,5	40	2,4	4,8
E82	2	82	10,086	5,043
Gewählt:				5

- 3) Flächen der Landkreise und kreisfreien Städte wurden dem Online-Angebot der Statistische Ämter des Bundes und der Länder entnommen; "Regionaldatenbank Deutschland"; Stand 2008, Recherchedatum 03.12.2010.
- 4) Wieviel Prozent der Landkreisfläche jeweils mit Windenergie genutzt wird, ist aus dem Verhältnis der Erntefläche zur Landkreisfläche zu ersehen. Die Summe der Ernteflächen aller bereits in Betrieb befindlichen Anlagen entsprechen dabei nicht dem Erscheinungsbild, da die heutigen Windparks teilweise größere als die Anlagen-Mindestabstände aufweisen und entsprechend größere Flächen belegen. Eher gibt die Summe aus in Betrieb befindlichen Anlagen und dem Restpotenzial, in der mittleren Spalte angegeben, einen Anhaltswert für die derzeitige Windenergie-Nutzung. Aus diesem Grund ist die Liste der Landkreise nach dieser Größe sortiert. In der rechten Spalte erscheint die in der Studie getroffene Prognose für den Ausbauzustand im Jahr 2015. Die Werte derjenigen Landkreise, die den GES2.0-Zielwert für Niedersachsen von 1,66 bereits übertreffen, sind grün hinterlegt.
- 5) Die Niedersachsenweite Erntefläche der in Betrieb befindlichen Anlagen von 0,66% der Landesfläche (2009) passt gut zu dem im GES2.0 auf anderem Weg geschätzten Wert von 0,6% (2007).
- 6) Der Vergleich mit den im Grünen Energieszenario 2.0 angesetzten Zielwerten für eine vollständige Selbstversorgung durch erneuerbare Energien zeigt, dass heute bereits knapp die Hälfte der zu nutzenden Flächen ausgewiesen sind.
- 7) Die noch laufende Regionale Raumordnungsplanung für die Windenergie im Landkreis Nienburg ist in dieser Aufstellung nicht berücksichtigt.



Auftraggeber Stefan Wenzel
für die Niedersächsische Landtagsfraktion
von Bündnis 90 / Die Grünen

Kontakt Niedersächsische Landtagsfraktion
Bündnis 90/Die Grünen
Hinrich-Wilhelm-Kopf-Platz 1 · 30159 Hannover

Internet <http://bit.ly/energieszenario-niedersachsen>

ISBN 978-3-9813981-1-3

Stand März 2011

