

Energiewende (Teil 2)



Derzeit ist in den Ballungsgebieten in Deutschland immer noch die Energieversorgung durch das Erzeugen von Strom in zentralen Kraftwerken vorherrschend. Dabei wird - regional unterschiedlich - der Strom über unterschiedliche fossile Energieträger in technisch verschiedenartigen Kraftwerkstypen erzeugt und dann in das Stromnetz eingespeist. Mit der erforderlichen Energiewende sollte sich dieses Bild in absehbarer Zeit verändern.

Die Energiewende als eine Antwort auf den Klimawandel steht seit Jahren auf der globalen Agenda. Die überwiegende Mehrheit der Klimaforscher und inzwischen auch der Regierungen sind davon überzeugt, dass der Klimawandel nur dann noch auf ein Wachstum von höchstens 2 Grad Celsius gegenüber dem Stand von 1890 begrenzt werden kann, wenn energische und umgehende Maßnahmen ergriffen werden.

Die aktuelle Situation, eine Reihe möglicher Gegenmaßnahmen, ihre Vor- und Nachteile sowie eine Beurteilung aus ökologischer Sicht werden im folgenden Beitrag behandelt. Zunächst werden die wichtigsten konventionellen (fossilen und atomaren) sowie regenerativen Energieträger vorgestellt. Anschließend werden die jeweiligen Entwicklungspotenziale und -möglichkeiten der beiden Großgruppen – fossile und atomare beziehungsweise regenerative Energieträger – angesprochen und unter verschiedenen Aspekten beurteilt. Im Abschlusskapitel „Zusammenfassender Ausblick“ werden die möglichen und erwartbaren Entwicklungen diskutiert.

Warum betreiben wir die Energiewende so nachlässig, obwohl wir doch wissen, dass dadurch nicht nur die Probleme des Klimawandels, sondern vor allem auch die Kosten dieser klimatischen Veränderungen in Zukunft global erheblich zunehmen werden?

Inhalt: Energiewende - Teil 2

Windenergie (land- und seegestützt)	Seite 23
Bioenergie	Seite 28
Biodiesel	Seite 33
Wasserkraft an Land	Seite 36
Meeresenergie	Seite 37
Gezeitenkraftwerk	Seite 37
Meeresströmungskraftwerk	Seite 38
Meereswärmekraftwerk	Seite 38
Osmosekraftwerk	Seite 39
Wellenkraftwerk	Seite 39
Wärmepumpenanlage	Seite 39
Geothermie	Seite 40
Wasserstoff	Seite 43

Energiewende – Teil 1 *bitte auf folgender Seite unten öffnen:*

<https://www.fiwiso-allianz.de/162>

Energiewende – Teil 3 *bitte auf folgender Seite unten öffnen:*

<https://www.fiwiso-allianz.de/162>

Energiewende – Teil 4 (mit Literaturhinweisen) *bitte auf folgender Seite unten öffnen:*

<https://www.fiwiso-allianz.de/162>

Windenergie (land- und seegestützt)

Wind ist eine meteorologische Erscheinung, ein Massenstrom zum Ausgleich von Druckunterschieden in der Atmosphäre. Wind ist sowohl eine Reaktion der Atmosphäre auf die Erddrehung, als auch auf den regional unterschiedlichen Temperatureintrag in die Atmosphäre durch die Sonneneinstrahlung. Windenergie ist daher indirekt teilweise auch eine Art Sonnenenergie.

Das globale Potenzial an Strom aus Windkraft wird derzeit im Bereich der bodennahen Winde auf etwa auf 400 TW geschätzt. Im Jahr 2018 waren weltweit 591.549 MW Leistung durch Windenergie installiert. Weltmarktführer mit etwa einem Drittel Anteil an der globalen Windkraftkapazität ist China. Eine BP-Studie beschreibt, dass die global installierte Leistung durch Windenergie im Jahr 2016 etwa 4 % des globalen Strombedarfs von ungefähr 21 Billionen KWh abdeckten.

In Deutschland waren mit 1.305 Windkraftanlagen (WKA) im Jahr 2018 an Land 52,5 GW und auf See 6,4 GW Leistung durch Windenergie installiert. Mit dieser insgesamt installierten Leistung von 58,9 GW wurden 2018 in Deutschland 111 TWh an Strom erzeugt. Dies entspricht etwa 18,6 % des deutschen Bruttostromverbrauchs von 594,9 TWh.

An windreichen Standorten liegen die Produktionskosten für Windstrom bereits unter denen für Strom aus Kohle- oder Kernkraftwerken. Die Stromgestehungskosten für Windstrom hängen stark von den Windverhältnissen am Standort der jeweiligen Anlage ab. Außerdem unterscheiden sich sowohl die Kosten des Anlagenaufbaus und der Anschlussleitungen an das Stromnetz, als auch die Betriebskosten für landgestützte Anlagen (onshore) stark von denen der seegestützten Anlagen (offshore). Dies führt dazu, dass für die Windkraftanlagen in Deutschland jeweils nur Preisspannen angegeben werden können. Im Jahr 2018 lagen die Kosten zur Stromerzeugung bei landgestützten Anlagen im Bereich zwischen 3,99^{€cent} und 8,23^{€cent} je erzeugter KWh. Bei seegestützten Anlagen lagen diese Kosten im Jahr 2018 im Bereich zwischen 7,49^{€cent} und 13,79^{€cent} je erzeugter KWh. Nach Angaben des Fraunhofer Instituts ISE sind in den Angaben dieser Stromgestehungskosten die Netzanbindungskosten des Stromnetzbetreibers nicht berücksichtigt. Es bleibt zu hoffen, dass künftig der gesamte erzeugte Windstrom genutzt werden kann, um auch genügend Strom zum Herstellen von synthetischen Kraftstoffen dorthin leiten zu können, wo solche Produktionsanlagen und auch Anlagen zum Zurückgewinnen von Kohlenstoff aus der Atmosphäre aufgebaut werden.

In der EU war im Jahr 2018 insgesamt eine Kapazität von 178,8 GW zum Erzeugen von Windstrom installiert. Mit dem Erzeugen von 362 TWh wurden etwa 14% des Energiebedarfs der EU durch Windstrom gedeckt. Die wichtigsten Lieferanten für diese Energieform waren Deutschland mit etwa einem Drittel und Spanien mit rund einem Sechstel der EU-Windstrommenge. Spitzenreiter in diesem Bereich ist indessen Dänemark, das schon im Jahr 2015 etwa 42 % seines eigenen Stroms aus Windkraft erzeugte.

Das Fraunhofer-Institut ISE hat Modelle entwickelt, nach denen etwa 13 % der Fläche Deutschlands sinnvoll für Windkraftanlagen genutzt werden könnten. Derzeitige politische Vorgaben ermöglichen jedoch maximal 2 % der Landesfläche für diese Energiegewinnung zu nutzen. Der Flächenbedarf für eine Anlage beläuft sich mit allen zugehörigen Flächen im Durchschnitt auf 0,4 ha. Die landwirtschaftliche oder forstwirtschaftliche Nutzung kann dabei im näheren Umfeld problemlos weiter betrieben werden.

Im Jahr 2018 gab es in Deutschland 29.213 landgestützte und 1.305 seegestützte Windkraftanlagen. Es waren 52.565 MW bei landgestützten, 6.417 MW bei seegestützten Anlagen und damit insgesamt 58.982 MW Leistung ans Netz angeschlossen. Mit dieser Kapazi-

tät wurden landgestützt 90.484 GWh sowie seegestützt 19.464 GWh und damit insgesamt knapp 110 TWh an Windstrom erzeugt. Dies entspricht einem Anteil von etwa 18,5 % am Bruttostromverbrauch. Die Windenergie hatte in den letzten Jahren einen ständig ansteigenden Anteil an der Stromerzeugung in Deutschland. Es ist inzwischen auch der zweitgrößte Anteil, größer als der Kernenergieanteil und als der Steinkohleanteil.

Heute werden Windkraftanlagen in der Regel in Windparks zusammengefasst. Die kommerziellen Vorteile für Erschließung, Wartung und das Einspeisen ins Netz liegen auf der Hand. Bei Offshore-Anlagen sind die Vorteile noch größer. An Land wird zudem dadurch das Landschaftsbild weniger gestört.

Durch die Novellierung des EEG (*Erneuerbare-Energien-Gesetz*) haben sich die Investitions- und Betriebsbedingungen für erneuerbare Energien deutlich zugunsten von Offshore-Anlagen verschoben. Zwar gilt die für 20 Jahre garantierte Einspeisevergütung weiter allgemein, doch wurden die Beträge deutlich abgesenkt. Allerdings sind die Vergütungen von 18 ct/KWh für Offshore-Anlagen bei Produktionskosten von 11,5 ct/KWh noch immer lukrativ. Zudem werden diese Anlagen zunehmend rentabler. Dies ist einmal auf die durch massenhafte Fertigung entstehende Kostendegression und zum anderen darauf zurückzuführen, dass die Offshore-Windanlagen immer größer ausgelegt werden. Lag 2016 die Nennleistung bei beachtlichen 5,2 MW pro Anlage, so sind für 2018 sogar Anlagen mit einer Nennleistung von 8 MW geplant.

Neben den unterschiedlichen Vergütungen für Land- und Offshore-Windkraftanlagen benachteiligen auch die höheren Anforderungen hinsichtlich der Ausschreibung durch Verschärfung des EEG kleinere Parks, wie sie häufig von Bürgergesellschaften oder Stadtwerken betrieben werden. Damit wird die Position der vier großen Stromkonzerne gestärkt und eher eine Zentralisierung des Energieerzeugens unterstützt.

Das neue EEG, dass große und vor allem Offshore-Anlagen mit sehr hohem Investitionsbedarf begünstigt, folgt einmal mehr dem Prinzip, durch Subventionen primär Investitionen großer privater Anleger und damit einseitige Kapitalinteressen zu fördern und zu schützen. Mit dem Schutz der Stromkonzerne durch das neue EEG wird eine weitere Kapitalkonzentration nicht nur billigend in Kauf genommen, sondern gezielt gefördert. Hier wäre im Rahmen kommender Anforderungen an unsere Stromnetze und an möglichst sinnvolle gemeinschaftliche Verteilungsstrategien eher ein Prozess zum Dezentralisieren mit vielen lokalen Stromerzeugern sinnvoll.

Auch der bisherige Vorrang der Netzeinspeisung für erneuerbare Energien wurde deutlich aufgeweicht. Kostengünstigem Strom aus abgeschriebenen (Braun-)Kohlekraftwerken werden die gleichen Netzvorteile eingeräumt. Das hat zur Folge, dass Windstrom bei hohem Windstromanfall durch Kohlestrom aus dem Netz verdrängt wird. Die Ankündigung, die Stromerzeugung zu dezentralisieren und auch zu demokratisieren, wird damit einmal mehr konterkariert. Denn die Verdrängung aus dem Netz betrifft vor allem Anlagen an Land und dort die kleinen dezentralen Betreiber. Strom aus off-shore-Anlagen, die dank stetiger und starker Winde nicht nur deutlich mehr, sondern vor allem deutlich kontinuierlicher Strom liefern, sind von der Verdrängung weniger betroffen.

Hier könnte durch eine Digitalisierung der Stromnetze auch ein Stützen der kleineren Anlagenbetreiber erreicht werden. Mit klaren Abnahmeverträgen für deren Windstrom zum Erzeugen von Wasserstoff, zum Rückgewinnen von rezentem Kohlenstoff aus der Atmosphäre und zum Herstellen von synthetischen Kraftstoffen könnte im Gesamtenergieverbund ein sinnvoller Beitrag zum Verringern der Atmosphärenbelastungen durch fossilen Kohlenstoff erreicht werden.

Die tatsächliche Energieabgabe von Windkraftanlagen ins Stromnetz bleibt deutlich hinter der installierten Leistung zurück. Derzeit ist ein Grund dafür, dass der in der Mitte Deutschlands eingespeiste Kohlestrom die Kapazität der bestehenden Stromnetze ausfüllt, sodass kein zusätzlicher Windstrom von den Küstenbereichen im Norden in die Industriebereiche im Süden geleitet werden kann. Strom von den erneuerbaren Energien wird vom Strom aus fossilen Energieträgern aus den Netzen ausgesperrt und darf gar nicht erst eingeleitet werden. Auf diese Weise wird er aus den Netzen verdrängt. Für die jeweiligen Betreiber ist jedoch für die Fälle einer aufgrund des Netzbetriebs bedingten Einleitsperre eine entsprechende Entschädigung vorgesehen. Beispielsweise wurden im Jahr 2017 Betreiber von Windkraftanlagen und Solaranlagen in Norddeutschland für mehr als 5.000 GWh erneuerbaren Strom entschädigt, der aufgrund der Überlastung der Stromnetze nicht in diese eingespeist werden konnte.



Dort, wo der Wind über dem flachen Land oder auf den Bergen ständig und oft auch kräftig weht verwundert es nicht, dass meist viele Windkrafträder nebeneinander aufgestellt werden. Besucher in solchen Gegenden und manche Anwohner beschwerten sich dann über eine „Verspargelung“ der Landschaft. Die Gemeinschaft vieler Menschen auf unserer Erde kann nicht beides haben, genügend klimaneutralen Strom – und dies ohne die technisch dazu erforderlichen Geräte dort wo es sinnvoll ist sie zu platzieren.

Natürlicherweise ist die Ergiebigkeit von Windkraftanlagen tagsüber deutlich höher als nachts oder im Spätherbst/Winter deutlich höher als im Sommer. Zudem müssen die An-

lagen von einer gewissen Windstärke an abgeregelt werden. Auch dies sind Gründe für ein nicht vollständiges Nutzen der installierten Erzeugerkapazitäten. In dieser un stetigen Stromproduktion zeigt sich ein wesentlicher Nachteil sowohl der Windkraft, als auch der Solarenergie. Die immer wieder auftretenden Schwankungen der Stromerzeugung müssen zur Sicherung einer stabilen Netzleistung durch rasch zuschaltbare Energieerzeuger oder Energiespeicher ausgeglichen werden. Für ein Zuschalten zum Sichern der Netzstabilität gibt es zu konventionellen Kraftwerken, die Strom aus Kernkraft oder aus fossilen Brennstoffen gewinnen, noch keine echte Alternative. Diese Notwendigkeit nutzen die großen Stromkonzerne, um Subventionen einzufordern, die auch alte Anlagen profitabel laufen lassen.

Um die Monopolstellung der vier Stromkonzerne aufzulösen, reicht der Bau neuer Windanlagen nicht aus. Es braucht vor allem neue Energiespeichertechniken, um un stetige Energieproduktionen ausgleichen zu können. Wichtiger ist jedoch das Reduzieren des Stromverbrauchs in Industrie, Haushalt und in den Kommunikationsnetzen.

Unter ökologischem Aspekt ist Windstrom besonders umweltschonend. Der CO₂-Ausstoß beträgt bei modernen Anlagen nur noch 9,4 g/KWh und setzt sich nur aus Emissionen zusammen, die bei der Produktion, beim Aufbau und bei der Wartung der Anlagen entstehen. Auch verursachen Windkraftanlagen nur sehr geringe Risiken und praktisch keine Unfälle. Besonders eindrucksvoll ist die energetische Amortisationszeit moderner Anlagen, die sich nur noch über wenige Monate erstreckt.

Als Nachteil wird die Beeinträchtigung der Landschaft durch ihre „Verspargelung“ gesehen. Es kann nicht bestritten werden, dass dadurch Regionen ihren ursprünglichen Charakter verlieren oder dass dieser zumindest beeinträchtigt wird. Auch aus diesem Grunde wird der Ausbau der seegebundenen Windkraftanlagen (*offshore*) deutlich stärker gefördert als derjenige der landgebundenen Anlagen (*onshore*). An Land wird sogar versucht, die weitere Entwicklung zu bremsen, obwohl die für diese Energieform vorgehaltenen 2 % der Landfläche noch nicht ausgenutzt sind. Der ursprünglichen Belästigung durch die Rotoren-Geräusche wird heute durch großzügige Abstandsregelungen Rechnung getragen. Auch sind neue Anlagen inzwischen deutlich leiser.

Die Tatsache, dass Windkraftanlagen auf dem Land teilweise unbeliebt sind, ist bedauerlich. Gegenüber seegebundenen Anlagen sind sie hinsichtlich des Material- und Energieaufwandes für Errichtung und Anschluss ans Netz deutlich umweltschonender. Insgesamt betrachtet werden wir künftig für eine klimaneutrale Energieversorgung auch wesentlich mehr oder leistungsstärkere Windkraftanlagen an Land brauchen. Das Problem der Gefährdung von Vögeln – auch von Großvögeln – und Fledermäusen beschäftigt und beunruhigt insbesondere Naturschützer. Diese Gefährdung ist mit Sicherheit gegeben und soll nicht klein geredet werden. Dem muss durch eine geeignete Standortwahl Rechnung getragen werden. „Vogelschlag“ soll besonders bei Offshore-Anlagen in der Nordsee von Bedeutung sein. Diese Windparks sollen Berichten zufolge auch bestimmte Fischarten gefährden – beispielsweise Schweinswale im Bereich der Doggerbank. Allerdings stellt jede massenhafte Energieerzeugung eine erhebliche Belastung der Biosphäre dar. Die Windkraft rangiert hierbei im unteren Gefährdungsbereich.

Bisher stellte die Entsorgung solcher Anlagen, aber besonders die aus Glasfaser bestehenden Anlagenteile wie beispielsweise die Rotorblätter, die Betreiber vor erhebliche Probleme. Sie wurden meist geschreddert und dann verbrannt. Dabei bestand die Gefahr, dass die Glasfasern verklumpen. Verbrennungsanlagen können beschädigt werden, wenn der Anteil dieses Mülls am gesamten Brandmaterial zu groß ist. Um 2020 herum dürften etliche Windräder der ersten Generation zur Verschrottung anstehen, weil sie dann aus der 20-jährigen EEG-Förderung herausfallen. Während sich viele Teile der Anlagen wie Stahl, Kupferkabel und selbst Beton gut recyceln lassen, ist dies für die Rotoren alles andere als einfach. Entsorger rechnen zu diesem Zeitpunkt mit etwa 9.000 Tonnen Recyclingmaterial aus Glasfasern von Rotorblättern. An diesem Problem wird zurzeit mit großer Erfolgsaussicht am Fraunhofer Institut für Chemische Technologie in Pfinztal gearbeitet. Inzwischen gibt es spezialisierte Firmen, die auch aus diesen Kunststoffen neue Produkte herstellen können.

Allerdings stellt sich die Frage, warum die Anlagen verschrottet werden müssen. Es gibt Überlegungen zur Generalüberholung der Windräder und anschließendem Verkauf in Länder des Ex-Ostblocks. Dort wird auch etwas veraltete deutsche Anlagentechnik gerne gekauft. Von den Betreibern gibt es ebenso Überlegungen, für die Anlagen feste Abnahmeverträge mit Firmen abzuschließen, die den Strom zum Rückgewinnen von Kohlenstoff aus der Atmosphäre, zum Herstellen von Wasserstoff oder von synthetischen Treibstoffen nutzen könnten. Die Anlagen könnten dann durchaus noch weitere 10 bis 15 Jahre laufen. Bis sich das Recyclingproblem dann erneut stellt, werden sicher bessere Recyclingmethoden entwickelt worden sein. Schon heute geben neu entwickelte Verfahren zu der Hoffnung Anlass, dass dieses im Grundsatz wertvolle Material anderweitig wiederverwertet werden kann. Inzwischen gibt es auch schon spezialisierte Firmen, die aus diesen Kunststoffen neue Produkte herstellen können.

Schließlich sei noch auf ein Argument eingegangen, das Windkraftgegner häufiger vorbringen: Durch Nutzung der Windenergie verringert sich der Energiegehalt der Luft, die durch den Betrieb dieser Anlagen auch aufgeheizt wird. Eine gründliche Studie der Harvard-University (USA) wies nach, dass sich selbst in dem höchst unwahrscheinlichen Fall, dass der gesamte Weltenergiebedarf auf diese Weise gedeckt werden würde, der Energiegehalt der unteren Luftschichten lediglich um 0,007 % verringern würde. Zweifelsfrei erzeugt auch jede Anlage unbestreitbar eine gewisse Wärme. Diese Wärmeabstrahlung ist jedoch bei Windanlagen um viele Potenzen geringer als die Aufheizeffekte, die durch die Abwärme thermischer Kraftwerke entstehen. Somit stellen beide Einwände diese Energieform nicht ernsthaft in Frage. Außerdem ist es in unserer derzeit inzwischen schon energetisch zu stark aufgeladenen Atmosphäre eher positiv zu bewerten, wenn ihr Energiegehalt durch solche Prozesse zusätzlich ein wenig mehr reduziert wird.

Bioenergie

Unter Bioenergie wird die Energiegewinnung aus eigens zu diesem Zweck angebauten Energiepflanzen (beispielsweise Mais, Raps, Zuckerrüben, Sonnenblumen) oder von gezüchteten Algen verstanden. Ölpalmen bleiben hier zunächst unberücksichtigt. Sie wer-

den unter Biodiesel behandelt. Zur Bioenergie gehört auch die Verwertung biogener Rückstände oder Abfallstoffe aus der Forst- und Landwirtschaft sowie aus Industrie und Haushalten. Auch das Verbrennen von eigens zu diesem Zweck geschlagenem oder gesammeltem Holz gehört zur Bioenergiegewinnung. Bioenergie-Stoffe haben zum größten Teil eine deutlich bessere Treibhausgasbilanz als konventionelle Brennstoffe.

Bioenergie ist vielfältig und kann in allen energierelevanten Sektoren eingesetzt werden. Dabei ist die traditionelle Nutzung, nämlich das Verbrennen als Holz oder Holzkohle, meist ziemlich ineffizient. Inzwischen existieren im Bereich der Bioenergie viele sehr unterschiedliche Technologien, die auch ständig weiterentwickelt werden. Grundlage für ein Gewinnen von Bioenergie ist eine durch biologische Prozesse entstandene Biomasse. Dabei können aus den verschiedenartigsten biologischen Rohstoffen sowohl Strom oder Wärme, als auch verschiedenartige Kraftstoffe erzeugt werden. Elektrischer Strom kann dabei auf unterschiedliche Weise aus fester, aus flüssiger oder aus gasförmiger Biomasse erzeugt werden. Wärme wird meist über einen Verbrennungsprozess mit ebenfalls verschiedenartigen Biomassen gewonnen. Holz ist beispielsweise eine Biomasse, die hierbei verwendet wird. Flüssige oder gasförmige Kraftstoffe können aus Biomassen gewonnen werden, zu denen sowohl Algen oder Energiepflanzen, als auch die unterschiedlichsten biogenen Abfallstoffe gehören.

Sektorübergreifend ist Biomasse mit 59 % Anteil die wichtigste regenerative Energieform, die sowohl für die Wärmeerzeugung (mit oder ohne gleichzeitige Produktion von Strom), als auch für den Verkehr wichtig ist. Das wichtigste Einsatzgebiet ist allerdings das Erzeugen von Strom und Wärme in Blockheizkraftwerken (BHKW). Mit der Kraft-Wärme-Kopplung (KKW) wird die beim Erzeugen mechanischer Energie zur Stromgewinnung entstehende Abwärme für Heizzwecke nutzbar gemacht. Dabei können ansonsten unerreichbare Wirkungsgrade von bis zu 80% Energieausbeute erreicht werden. Eine Beschränkung auf die ausschließliche Erzeugung von Wärme oder Elektrizität ist dagegen als deutlich suboptimal einzustufen.

Im Jahr 2018 wurden in Deutschland 50,8 TWh Strom aus Biomasse erzeugt. Der größte Teil entfiel mit 28,8 TWh auf Biogas. Aus fester Biomasse wurden 10,8 TWh und aus biogenem Abfall 6,2 TWh Strom erzeugt. Ebenfalls bedeutend ist die Wärmegewinnung in Kleinfeuerungsanlagen. Diese Anlagen (meist Öfen, Herde oder Kaminfeuerstellen) haben nicht nur eine meist geringe Energieeffizienz, sondern auch ein erhebliches Problem mit der Emission von Feinstäuben. Solche Geräte sollten daher zumindest mit einem staatlich geschützten Umweltzeichen (beispielsweise der „Blaue Engel“) gekennzeichnet sein. Aber auch aus Klärschlamm kann Elektroenergie gewonnen werden. Dieser wird in Silos vergoren, wobei Biogas entsteht. In aller Regel wird dieses energiereiche Gas im klärwerkeigenen Blockheizkraftwerk verfeuert.

In der EU steuert die Bioenergie etwa zwei Drittel zur Primärenergiemenge bei, die aus erneuerbaren Energien stammt. Dieser Anteil scheint derzeit geringer zu werden. Die Bioenergie wird hauptsächlich in Ländern mit einem hohen bis sehr hohen Waldanteil verwendet. Als wichtigste Brennstoffe werden dort Hackschnitzel verschiedenster Art

oder Pellets eingesetzt. Bei nachhaltiger Bewirtschaftung der Wälder kann diese Energieumwandlung als CO₂-neutral angesehen werden.

Im Jahr 2015 betrug der Jahresbedarf an Holzhackschnitzeln in Deutschland 2.368.651 t_{atro} (diese Einheit benennt die reine, also absolut trockene Holzmasse ohne Wassergehalt). Im Laufe der letzten Jahre ist diese Energiebereitstellung stetig und deutlich kostengünstiger geworden. Das Hauptproblem ist der zeitweise beschränkte Anfall derartiger Abfallprodukte aus Forst- und Holzwirtschaft. Dieses Problem besteht auch dann, wenn durch Sturmschäden oder durch Schädlingsbefall größere Holzmengen zur Verfügung stehen, da die entsprechenden Flächen meist nicht kurzfristig bearbeitet werden können.

Berechtigterweise werden die Anforderungen an die Reinhaltung der Emissionen ständig verschärft. Die weithin vorherrschenden Kleinanlagen können diesen Anforderungen allerdings kaum gerecht werden. Werden sie stillgelegt, geht damit jedoch auch Autonomie und dezentrale Energiegewinnung verloren. Noch dominieren lokale Märkte mit dezentralen Strukturen diesen Sektor. Noch fehlt ein standardisiertes Zertifizierungssystem, das die Voraussetzung für überregionale und insbesondere internationale Handelsbeziehungen bildet. Allerdings muss man sich fragen, ob ein derartiger Handel und der daranhängende Transport überhaupt sinnvoll wäre. Der Einsatz des lokal und regional verfügbaren Brennmaterials vor Ort erscheint dabei eher sinnvoll.



Wenn Mais als Monokultur auf großen Feldern angebaut wird, um als Energiepflanze zum Erzeugen von Bioenergie zu dienen, stehen wir schon in Deutschland vor dem Problem der Flächenkonkurrenz zwischen Tisch und Tank. In manchen Gegenden Deutschlands wird inzwischen schon das Wort „Vermaisung“ benutzt, um die Zunahme der Flächen zu beschreiben, auf denen zusätzlich Mais angebaut wird.

Kritischer ist die Situation im landwirtschaftlichen Bereich zu beurteilen. So lange zur Bioenergiegewinnung Abfälle verwendet werden, kann aus ökologischer Sicht wenig

eingewendet werden. Im Jahr 2013 wurde jedoch auf 1.268 Mio. ha – das waren 10,6 % der Ackerfläche in Deutschland - Mais für diese Energiegewinnung angebaut. Durch den zunehmenden Anbau von Energiepflanzen - insbesondere von Mais in intensiver Landwirtschaft mit hohem Einsatz von Mineraldünger und Pestiziden - verschlechtert sich die Klimabilanz deutlich. Außerdem führt der meist agroindustrielle Anbau von Mais als Monokultur zu einer sehr starken Beeinträchtigung der Artenvielfalt. Auffällig ist die Abnahme von Vögeln und Kleintieren als Folge des unmerklichen Insektensterbens. Zudem liegt der Ackerboden den größten Teil des Jahres frei, da diese aus den Subtropen stammende frostempfindliche Pflanze erst ziemlich spät ausgesät werden kann. Hinzu kommt die verstärkte Bodenerosion bei leichteren Böden. Ein landschaftliches Problem, welches man in der Oberrheinebene studieren kann, ist die „Vermaisung“ der Landschaft, welche zusehends ihren ursprünglichen Charakter verliert.

Trotzdem muss man davon ausgehen, dass der Anbau von Mais für Energiezwecke oder das Anbauen anderer Energiepflanzen wie beispielsweise Raps weiter ausgedehnt wird. Durch die vergleichsweise guten Energiepreise und die auch nach der Novellierung des EEG verbliebenen guten finanziellen Investitionsanreize und Einspeisevergütungen behält der Anbau von Energiepflanzen weiter große Bedeutung für die Landwirtschaft.

Etwa drei Viertel der Biogas-Anlagen befinden sich dezentral in bäuerlicher Hand. Zahlreiche dieser Anlagen sind nicht ausreichend dicht. Infolge dessen entweicht häufig das Treibhausgas Methan (CH_4), das eine 25- bis 30-fach stärkere Wirkung als CO_2 entfaltet.

Im Jahr 2014 liefert Biogas mit einem Volumen, das etwa 20 % der Erdgasimporte aus Russland entsprach, einen beachtlichen Anteil zur hiesigen Energieversorgung. Nach umfassender Aufbereitung kann Biogas in das bestehende Erdgasnetz eingespeist werden. Im Jahr 2017 wurden etwa 853 Mio. Nm^3 (*Normkubikmeter*) Biogas in das Gasnetz in Deutschland eingespeist. Beim Normkubikmeter wird die gemessene Gasmenge auf eine Normtemperatur (0°C) und einen Normdruck (1013,25 mbar) bezogen und entsprechend als Normvolumen berechnet. Diese Biogasmenge wurde von etwa 8.700 Biogasanlagen erzeugt. Die installierte elektrische Leistung dieser Biogasanlagen betrug etwa 4,5 GW. Damit wurden etwa 32,5 TWh an Strom erzeugt die etwa 5,4 % des Stromverbrauchs in Deutschland deckten. An Wärme wurden dabei umgerechnet etwa 17.184 GWh produziert.

Aus Sicht der Netzbetreiber ist es wichtig, die Netzstabilität der Stromnetze über regelbare Stromerzeuger herstellen und erhalten zu können. Wenn verschiedene Stromerzeuger durch fehlende Energieangebote ausfallen müssen (beispielsweise die Photovoltaik nachts oder die Windenergie bei Flaute oder zu starkem Sturm), müssen andere Erzeuger oder Speichermedien diesen Ausfall ausgleichen können. Dazu werden Stromerzeuger benötigt, die möglichst schnell regelbar sind. Flexibilisierte Biogasanlagen können in Grenzen auch schnell an kurzzeitig höhere Lieferanforderungen angepasst werden. Dadurch wurde bis zum Jahr 2017 ein Ausgleichspotenzial von etwa 16 GW vorgehalten.

Bioenergie wird in den letzten Jahren zunehmend skeptisch gesehen und vor allem aus ökologischer Sicht kontrovers diskutiert. Da Bioenergie aus den verschiedenartigsten

Rohstoffen über die unterschiedlichsten Technikpfade für teilweise grundverschiedene Anwendungsbereiche gewonnen werden kann, lässt sich Ihre Umweltfreundlichkeit auch nicht einfach beurteilen. Es kann dabei keine Gesamtbewertung geben. Aufgrund ihrer vielfältigen Formen und Verwendungsweisen wäre stets eine Bewertung konkreter Vorhaben, oft sogar eine Einzelfallbeurteilung erforderlich. Einige Auswirkungen können dennoch auch generalisierend bewertet werden. So kann festgestellt werden, dass der massive Anbau von Mais ein erhebliches Problem darstellt. In aller Regel wird fruchtbarer Boden für diese Intensivkulturen in Anspruch genommen. Werden bisher weniger bewirtschaftete Flächen (beispielweise extensives Grünland) dafür verwendet, ist diese Bewirtschaftung stets mit einem hohen Einsatz von Mineraldünger verbunden. Diese Flächenkonkurrenz fällt schon im nationalen Rahmen ins Gewicht. Global ist der Maisanbau als Energiepflanze sowie als Futter für die Massentierhaltung ein echtes Problem, vor allem für die arme Bevölkerung in den Entwicklungsländern. Denn Bevölkerungswachstum und steigender pro Kopf Verbrauch der Mittelschichten erzeugen eine vermehrte Nachfrage nach Fleisch und Agrarrohstoffen. Gleichzeitig wird mancherorts natürlicher Regenwald per Brandrodung vernichtet, um auf diesen Flächen später Pflanzen anzubauen, deren Ernte entweder als Futter, oder als Energierohstoff verwendet werden kann. Deshalb geht man allgemein von einem weiteren Preisanstieg auf dem Gebiet „Anbau von Agrarrohstoffen“ aus.

Die Flächenkonkurrenz verschärft sich erheblich, wenn man die Produktion von Bio-Produkten für den Verkehr oder als Zusatzstoff für Fertigprodukte der Lebensmittelindustrie berücksichtigt – hier sei beispielsweise das Bioprodukt Palmöl genannt. Als eine sich heute bereits sehr deutlich abzeichnende Auswirkung dieser Entwicklung wird die zunehmende Verknappung fruchtbaren Bodens zum Erzeugen von Grundnahrungsmitteln für die Bevölkerung bezeichnet.

Diesem Trend versucht die Erneuerbare-Energie-Richtlinie 2009/28/EG, die auch in deutsches Recht umgesetzt worden ist, gegenzusteuern. Für flüssige Bioenergieträger wurden unter Mitwirkung des Umweltbundesamtes (UBA) Nachhaltigkeitsforderungen formuliert. Ob die Zielvorgabe im Verkehrssektor 10 % erneuerbare Energien einzusetzen, die Flächenkonkurrenz verringert, bleibt jedoch mehr als fraglich. Es wurden allerdings Schutzbestimmungen für Grünland mit hohem Biodiversitätsanteil und für Moorböden erlassen. Außerdem sollen Biogasanlagen nur genehmigt werden, wenn eine Mindesteinsparung von 35 % Treibhausgas bezogen auf die Emission von Kohlekraftwerken sicher ist. Diese Richtlinie wurde 2018 novelliert und im Dezember 2018 als Richtlinie (EU) 2018/2001 in neuer Fassung im [Amtsblatt der Europäischen Union](#) veröffentlicht.

Es wird angeregt, verstärkt landwirtschaftliche Reststoffe wie beispielsweise Gülle für die Erzeugung von Bioenergie zu nutzen. Dabei muss dann allerdings streng darauf geachtet werden, dass die Anlagen wirklich dicht sind. Eine entsprechende Kontrolle der Anlagen bei Planung, Bau und Betrieb ist unbedingt erforderlich.

Abschließend sei erwähnt, dass Gehölze in Form von Hackschnitzeln für die Energiegewinnung genutzt werden. Da die Gehölze nur kurzumtriebig und hochmechanisiert be-

wirtschaftet werden, wird dies kritisch betrachtet. Neben dem Treibstoffbedarf für die Erntemaschinen erfordert die Bewirtschaftung einen vergleichsweise hohen Einsatz von Mineraldünger, da diese Plantagen nicht auf gutem Ackerland angelegt werden. Auch ist der energetisch wenig ergiebige Rindenanteil sehr hoch und führt zu einer unbefriedigenden Energieeffizienz. Da zudem die ökologischen Schäden – vor allem im Hinblick auf die Biodiversität – ausgesprochen hoch sind, sollte von dieser Form der Rohstoffherzeugung für Bioenergie Abstand genommen werden. Abgesehen von Blockheizkraftwerken mit sehr hohen Wirkungsgraden sprechen die sonst eher negativen ökologischen Folgen dagegen, manche Form von Bioenergie in Deutschland weiter zu tolerieren.

Biodiesel

Unter Bio- oder auch Agrodiesel wird ein Kraftstoff verstanden, der wie der herkömmliche mineralische Diesel verwendet werden kann. Er wird entweder auf pflanzlicher oder tierischer Grundlage erzeugt, erfüllt höchste Qualitätsansprüche und hat zudem natürliche Eigenschaften, die den Kraftstoffen aus fossilen Rohstoffen fehlen. Diese Eigenschaften müssen bei den fossilen Kraftstoffen erst über komplexe Produktionsprozesse und durch die Zugabe von Additiven erzeugt werden. Diese natürlichen Kraftstoffeigenschaften sind:

- Biodiesel ist annähernd schwefelfrei
- Biodiesel hat hervorragende Schmiereigenschaften
- Biodiesel sorgt mit einer hohen Cetanzahl, dem Maß der Zündwilligkeit eines Kraftstoffs, für einen geringeren Motorenverschleiß und für eine hohe Laufruhe der Selbstzündermotoren
- Biodiesel sorgt mit seinem hohen Sauerstoffanteil von etwa 11 % für eine bessere Verbrennung und damit für deutlich weniger Ruß in den Verbrennungsabgasen, wobei auch die Ablagerungen im Motor vermindert werden.

Im Jahr 2007 erreichte Biodiesel mit rund 2,15 Mio. t Reinkraftstoff in Deutschland einen Höhepunkt. Von 2009 an wurde Biodiesel dem normalen Kraftstoff bis zu maximal 7 % der Menge beigemischt. 2011 steuerte Biodiesel mit 70 % den größten Beitrag an erneuerbaren Energien im Verkehrssektor bei. 2012 wurden aufgrund der stark gestiegenen Energiesteuern nur noch etwa 100.000 t abgesetzt. Von 2013 an sank der Absatz von Biodiesel als Reinkraftstoff durch den Rückgang der steuerlichen Förderung in Deutschland erheblich, sodass es bald zu Firmenschließungen und zum Einstellen des Reinkraftstoffabsatzes kam. Hier war zu Gunsten des Vertriebs der Kraftstoffe aus fossilen Rohstoffen und zu Gunsten der Mineralölindustrie entschieden worden, da die Hersteller in Deutschland Biodiesel nur noch an die Mineralölkonzerne zum Beimischen in den Dieselmotorkraftstoff verkaufen konnten.

Im Jahr 2018 produzierten die Hersteller in Deutschland etwa 3,2 Mill. t Biodiesel. In diesem Zeitraum wurden in Deutschland jedoch nur 2,21 Mill. t Biodiesel verbraucht. Der größte Anteil des Produktionsüberschusses wurde ins europäische Ausland exportiert, der kleinere Anteil wurde auch an außereuropäische Abnehmer verkauft.

In Deutschland wird 80 % des Biodiesels im Straßenverkehr eingesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass sein Einsatz weiter steigen wird, falls dies die Produktionsgrundlage zulässt. Der Einsatz im Schienen- und Luftverkehr ist dagegen vernachlässigbar. Allerdings wird Biodiesel seit 2007 in Großbritannien teilweise auch als reiner Kraftstoff (B100) und seit 2008 auf verschiedenen Strecken in den USA in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen eingesetzt. Im Jahr 2014 hat die Bahn in Indien begonnen, ihrem Dieseltreibstoff bis zu 5 % Biodiesel beizumengen. Auch in Frankreich wird für verschiedene Regionalzüge ein Kraftstoffgemisch mit Biodiesel eingesetzt. Ein weiteres Einsatzgebiet zeichnet sich in Laborversuchen zur Reinigung verseuchter Böden bei Ölnfällen ab, da Biodiesel die Fähigkeit hat, Rohöl aufzulösen. Seit dem Jahr 2008 wird Biodiesel in vergleichsweise geringem Umfang mit geeigneten Zusatzstoffen als Beimengung zu Heizöl sowie in der Schifffahrt verwendet. Letzteres könnte sich in absehbarer Zeit ändern: Biodiesel ist im Gegensatz zu Mineraldiesel biologisch ziemlich gut abbaubar. Er würde sich daher als Ersatzstoff für die Schifffahrt auf Seen anbieten. Für die Bodensee- und einige bayerische Seefloten wird diese Alternative derzeit geprüft.

In Deutschland wird der großflächig angebaute Mais im Wesentlichen für die Erzeugung von Biogas verwendet. Raps ist hierzulande Ausgangsstoff für Biodiesel. Wegen der beschränkten Ackerfläche können durch deutschen Rapsanbau allerdings maximal fünf Prozent unseres Dieselkraftstoffverbrauchs durch Biodiesel ersetzt werden. Allein um dieses Ziel zu erreichen müsste etwa die Hälfte der gesamten deutschen Ackerfläche in vierjähriger Fruchtfolge zum Anbau von Raps für Biodiesel verwendet werden. Das erscheint so unmöglich wie sinnlos und zeigt das ökologische Dilemma auf, das durch den Einsatz von Biokraftstoff entsteht. Zudem verringern 5 % Biodiesel die Treibhausgasemissionen nur um etwa 3 %.

Das ökologische Dilemma wird durch den Import entsprechender Energierohstoffe zu sozialem Brennstoff. Denn diese Importe sind nur möglich, weil in anderen Ländern die entsprechenden Ackerflächen für den Anbau von beispielsweise Palmöl verwendet werden. Palmöl für unsere Biodieselproduktion wird nahezu ausschließlich in tropischen bis subtropischen Ländern erzeugt. Diese Länder benötigen ihre Ackerflächen dringend selbst zur Armutsbekämpfung. Das Flächenkonkurrenzproblem: „Tisch“ im eigenen Land oder „Tank“ in Übersee wird diesen Ländern durch das internationale Finanz- und Handelssystem aufgezwungen. Genauer gesagt werden diese Länder dazu gebracht, den „Tisch“ im eigenen Land zu vernachlässigen, um den „Tank“ in Übersee zu füllen. Verschärft wird die Situation dadurch, dass in teilweise denselben Ländern zunehmend Soja agroindustriell für unsere Futtermittelproduktion und hier vor allem für die Massentierhaltung angepflanzt wird.

Für diese großflächigen Monokulturen müssen entweder Wälder (meist Urwälder) gerodet oder andere Nutzpflanzen von vorhandenen Ackerflächen verdrängt werden. Welch gigantische Waldvernichtung der Anlage von Palmölplantagen in Indonesien und Malaysia vorausging, geht aus Berichten des WWF hervor. Danach wurden seit 1980 in beiden Ländern mehr als 3,5 Mio. ha Wald für Palmölplantagen vernichtet – und dies meist durch Brandrodung. Das ist der Preis für unser „sauberes“ Bioöl. Allein Deutschland importiert

rund 1,8 Mio. t Palmöl pro Jahr. Davon werden gut 40 % zu Biodiesel und etwa 8 % zu Futtermitteln verarbeitet. Palmöl steckt darüber hinaus in nahezu jedem zweiten Produkt im Supermarkt.

Viele Konzerne - wie beispielsweise Unilever oder Nestlé - sind indirekt in die illegale Abholzung von Regenwald für die Anlage von Palmöl-Plantagen involviert. Die Nichtregierungsorganisation (NGO) „Rainforest Action Network (RAO)“ dokumentierte 2017 den Palmölanbau auf illegal abgeholztem Regenwaldterrain. Die Vermarktung erfolgte über Zwischenhändler, bis Großhändler dieses Öl an die Konzerne weiterverkauften. Eine dominierende Rolle spielte die Firma „Agra Bumi Niago (ABN)“. Während ABN jede Stellungnahme verweigerte, reagierten die angesprochenen Konzerne betroffen und sagten eine Überprüfung ihrer Lieferketten zu.

Die Klimaneutralität von Biodiesel wird je nachdem, welche Schritte einbezogen werden, sehr unterschiedlich beurteilt. Dabei spielen die Bewertung der Landnutzungsänderung, des Einsatzes von Mineraldünger, der hochmechanisierten Bewirtschaftung und der Methanemissionen eine entscheidende Rolle. So wird in Bezug auf die Emission von Treibhausgasen des Mineraldiesels - abhängig von der Berechnungsart - eine Reduktion der Treibhausgase zwischen 57 % und sogar 0 % errechnet. Dabei ist die Zerstörung natürlicher Ökosysteme durch Brandrodung nicht eingerechnet. Dies würde das Ergebnis erheblich zum Nachteil des auf diese Weise erzeugten Biodiesels verändern.

Zwar emittiert Biodiesel beim Verbrennen weniger CO₂ als Mineraldiesel, doch dafür sind die Anteile an Stickoxiden (NO_x) im Abgas deutlich höher. Aus ökologischer Sicht kann jedoch kein Zweifel daran bestehen, dass die Auswirkungen dieses Energieträgers in der Summe ausgesprochen negativ zu beurteilen sind. Nur in großflächigen Monokulturen können die derzeit verwendeten Energiepflanzen rentabel erzeugt werden, und dies nur mit hohem Einsatz von Maschinen, Treibstoff, Mineraldünger und Pestiziden. Da sich diese Plantagen weithin auf Flächen ausbreiten, die nur durch eine raubartige Nutzungsänderung - häufig durch illegale Brandrodung - von vorherigem Primär-Waldgelände entstehen konnten, sind die Verluste an Biodiversität ausgesprochen hoch und irreversibel. Nach der EU-Richtlinie für Erneuerbare Energien können derartige Bewirtschaftungsweisen nicht als nachhaltig angesehen werden. Eine Umwandlung von Wäldern und vor allem von Schutzgebieten mit bedrohten Ökosystemen in Agrarflächen mit Monokulturen ist danach unzulässig.

Als negativ muss auch der unverhältnismäßig hohe Flächenverbrauch beurteilt werden. So werden für das Erzeugen eines Kilogramms Mineraldiesel-Äquivalents 30 m² Anbaufläche fruchtbaren Bodens benötigt. Das Umweltbundesamt (UBA) teilte daher bereits 2006 mit: „Wegen der beschränkten Ackerfläche kann mit in Deutschland angebautem Raps maximal etwa fünf Prozent des ... benötigten Dieselkraftstoffs ersetzt und ein bis vier Prozent der Treibhausgasemissionen vermieden werden. Hierzu müsste ... die Hälfte der gesamten ... Ackerfläche zum Biodiesel-Rapsanbau in vierjähriger Fruchtfolge genutzt werden... Das tatsächliche Potenzial liegt deshalb eher in der Größenordnung von 1 bis 2 % der Dieselmenge.“ Biodiesel ist daher ein Luxusprodukt, das wir uns nur dank

Rohstoffimport leisten können. Der Rohstoffanbau schafft in der Summe mehr soziale und ökologische Probleme, als Biodiesel zu lösen vermag.

Wasserkraft an Land

Weltweit wird das technisch nutzbare Potenzial zur Stromerzeugung aus Wasserkraft auf 26.000 TWh pro Jahr geschätzt. Davon werden derzeit nur etwa 62 % als technisch tatsächlich erschließbares Potenzial betrachtet. Im Jahr 2016 wurden weltweit etwa 4.100 TWh an elektrischem Strom aus Wasserkraft erzeugt, was etwa 16,6 % des globalen Bedarfs an elektrischer Energie entsprach. Damit entfielen 2016 etwa zwei Drittel des weltweit erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energien auf diese Energieform.



Die großen Kraftwerke zum Gewinn von elektrischem Strom durch Wasserkraft an Land sind fast ausschließlich mit dem Errichten großer Staumauern verbunden. Meist sind damit große Stauseen mit großen Wasserflächen verknüpft, womit dann auch große Landflächen durch Überfluten verloren gehen. Das Bild zeigt die Staumauer des weltweit derzeit zweitgrößten Stausees, den „Kariba-Dam“ am Sambesi, in dem etwa 180 km³ Wasser aufgestaut werden.

In Deutschland wurden im Jahr 2016 etwa 20,5 TWh elektrischer Energie aus Wasserkraft erzeugt, im Jahr 2018 nahm dieser Wert aufgrund der Trockenperiode im Sommer auf etwa 18 TWh ab. Damit wird derzeit in Deutschland mit Wasserkraft an Land ähnlich viel Strom erzeugt, wie mit der Windkraft auf See. Derzeit ist diese Wasserkraft der viert- bis fünftwichtigste Energieträger bei den erneuerbaren Energien in Deutschland.

In ökologischer Hinsicht scheint die Stromerzeugung auf den ersten Blick ziemlich problemlos zu sein. Sie trägt lediglich in einer ähnlichen Größenordnung wie die Windkraft zur Emission von CO₂ bei. Mit 40 bis 110 g/kWh emittiert sie - über alle Aktivitäten der Gesamtkette gerechnet - einen ähnlichen Ausstoß wie die Atomkraftwerke, bei denen jedoch nur die direkt dem einzelnen Werk zuzurechnende Menge und nicht die Gesamt-

kette berücksichtigt wird. In Bezug auf die Emission von Braunkohlekraftwerken liegt die Wasserkraft lediglich bei einem Fünftel des entsprechenden spezifischen Wertes.

Diese Sichtweise ist jedoch zu einfach. Sie übersieht, dass Wasserkrafterzeugung mit erheblichen Eingriffen in Natur und Landschaft verbunden ist. Durch Überflutung von Tälern kommt es zu meist irreversiblen Artenverlusten. Aus diesem Grunde ist ein Ausbau der Wasserkraft in der EU nur noch bei Einhaltung strenger ökologischer Vorgaben möglich. Hinzu kommt bei Staudämmen in ariden oder semiariden Gebieten, dass ein großer Teil des dort sehr kostbaren Wassers verdunstet, was Wasserknappheit am Unterlauf des jeweiligen Flusses, aber auch Niederschläge in anderen Regionen verstärkt.

In diese Betrachtung sind allerdings die neuerdings technisch möglichen schwimmenden Minikraftwerke nicht einbezogen, die beispielsweise in Peru auch in nur bis zu 3 m breiten Flüssen eingesetzt werden, um abgelegene Dörfer mit elektrischer Energie zu versorgen. Mit dieser neuen Technik der Strombojen kann auch aus Flussläufen, in denen es keine Staustufen gibt, elektrischer Strom gewonnen werden. Im Mittelrhein wird demnächst bei St. Goar ein solches Minikraftwerk getestet werden, das bis zu 400.000 KWh jährlich erzeugen soll.

Für Laufkraftwerke (Wasserräder), die die Fließgeschwindigkeit der Flüsse nutzen, müssen häufig die Flussbetten kanalisiert werden. Dies sowie die Änderung der Fließgeschwindigkeit beeinträchtigen die Ökosysteme der Flüsse. Außerdem heizen sich Restwassermengen in warmen Sommern stärker auf, wodurch ihr Sauerstoffgehalt gefährlich sinkt. Zudem stellen die für den Kraftwerksbetrieb notwendigen Wehre oft unüberwindbare Barrieren für Fische dar. In Deutschland hat man daher in den vergangenen Jahrzehnten begonnen, an Wehren Fischtreppe oder ähnliches zu bauen, damit Fische in ihre natürlichen Laichgewässer zurückkehren können – übrigens mit großem Erfolg.

Meeresenergie

Theoretisch enthält die Wellenkraft der Ozeane das größte Potenzial an Wasserkraft. Meereskraftwerke befinden sich allerdings meist noch in der Entwicklungs- oder Planungsphase. Daher kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht abgeschätzt werden, welchen Beitrag Meeresenergie einmal zur Stromerzeugung liefern wird.

Gegenwärtig sind die wichtigsten technologischen Linien:

Gezeitenkraftwerk

Diese Kraftwerke wandeln die potentielle und kinetische Energie des Tidenhubs in elektrischen Strom um. Voraussetzung ist ein Mindesthub von 5 m. Da zwischen Ebbe und Flut jeweils 12 Std. und 24 Min. liegen, ist über den Tidenhub keine kontinuierliche Stromproduktion möglich. Zudem müssen Ereignisse wie Nipp- oder Springtiden berücksichtigt werden. Von Vorteil ist, dass sich die Gezeiten präzise voraussagen lassen.

Bisher sind sieben Anlagen in sechs Ländern in Betrieb. Das älteste Werk in Rance, Frankreich wird schon seit 1966 mit einer Kapazität von 240 MW betrieben. Die jüngste Anla-

ge in Sihwa-ho, Südkorea ging erst 2011 mit einer Kapazität von 254 MW ans Netz. Außerdem ist eine Reihe von Anlagen in Planung oder bereits im Bau. Großbritannien nimmt hier eine führende Stellung ein. In Deutschland ist kein ausreichender Tidenhub für Gezeitenkraftwerke gegeben.

Da die Anlagenteile durch das Salzwasser ziemlich stark korrodieren, ist der Wartungsaufwand hoch. Ökologische Probleme entstehen, weil Fauna und Flora der Küstengewässer erheblich beeinflusst werden. Diese Ökosysteme sind an den Gezeitenrhythmus angepasst. Durch die Phasenverschiebung infolge Energieerzeugung wird die Wanderung der Wassertiere zur Küste und in die Mündungen der Flüsse behindert.

Es wird daher angenommen, dass diese Kraftwerksart wegen der geringen Anzahl geeigneter Standorte und den vergleichsweise hohen Kosten auch künftig nur einen geringen Beitrag zur globalen Stromerzeugung leistet.

Meeresströmungskraftwerk

Hier wird Energie über die Nutzung der natürlichen Meeresströmungen gewonnen. Dazu werden Gezeiten-Turbinen frei in der Strömung verankert. Standorte mit entsprechenden Strömungen gibt es Hunderte. Doch bisher wurden weltweit nur sieben derartige Werke gebaut, bei denen es sich zudem noch weitgehend um Versuchsanlagen handelt.

Theoretisch könnten bis zu 3 % des aktuellen Strombedarfs in Europa auf diesem Wege gedeckt werden. In Großbritannien, wo die Voraussetzungen relativ günstig sind, wird eine mögliche Bedarfsdeckung von etwa 20 % erwartet. Aufgrund der Küstenstrukturen und der bestehenden Küstenverkehre scheidet diese Möglichkeit für Deutschland aus.

Das Beherrschen dieser Technologie gilt als technisch anspruchsvoll. Es besteht die Gefahr der Auskolkung. Bau sowie Wartungs- und Reparaturarbeiten gestalten sich schwierig. Zudem behindern die Anlagen den industriellen Fischfang. Insgesamt betrachtet dürfte diese Energiegewinnung relativ teuer sein.

Aus ökologischer Sicht wird dieses Verfahren bisher positiv gesehen, da weder Treibhausgase noch andere Abfallstoffe entstehen. Untersucht wird derzeit, ob die langsame Rotation des großen Rotors und der Entzug von Strömungsenergie Auswirkungen auf die Tierwelt haben. Auch die Auswirkungen eines veränderten Sedimenttransports auf dem Meeresboden sowie Folgen der Ausbreitung des Lärms der Rotoren im Wasser müssen noch abgeklärt werden. Insgesamt gesehen, dürften die ökologischen Nachteile im Vergleich zu anderen Energiegewinnungsarten vergleichsweise gering sein.

Meereswärmekraftwerk

Dieser Kraftwerkstyp erzeugt Energie aus der Differenz, die zwischen wärmeren Wasserschichten an der Oberfläche des Meeres und den kalten Wassermassen in der Tiefe besteht. Die Forschungen sind bisher über die Installation einer Versuchsanlage der Universität Saga in Japan und über den Bau einer in Hawaii betriebenen Anlage, die mit einer Kapazität von etwa 105 KW im Jahr 2015 ans lokale Stromnetz angeschlossen wurde, noch nicht hinausgekommen.

Ob und inwieweit ein Eingriff in das jeweils örtliche Temperaturregime der tieferen Wasserschieden auch einen Einfluss auf die in den Kontinentallhängen von etwa 200 m Wassertiefe an eingelagerten Methanhydratvorräte ($\text{CH}_4 \cdot 5,75 \text{ H}_2\text{O}$) ausüben und großflächig Methan freisetzen kann, wurde in diesem Zusammenhang noch nicht untersucht.

Osmosekraftwerk

Grundlage dieses Kraftwerkstyps ist der Osmosedruck, der entsteht, wenn Salz- und Süßwasser durch eine halbdurchlässige Membran getrennt sind. Der osmotische Druck (die Salzgradientenenergie) wird dazu genutzt, eine Turbine anzutreiben. 2009 wurde eine erste Versuchsanlage bei Oslo gestartet, mit der bisher etwa $2,2 \text{ W/m}^2$ Membranfläche erzeugt werden konnte. Im Jahr 2018 haben chinesische Wissenschaftler im Laborversuch mit neuartigen Membranen eine Steigerung der Ausbeute um 35 % erreichen können.

Wellenkraftwerk

Bei diesem Anlagentyp handelt es sich um kleinere Kraftwerke, die die kontinuierliche Wellenbewegung zu nutzen versuchen. Je nach Wellengang schwankt die Leistung in erheblichem Umfang. Als Mittelwert wird eine Leistung von 25 kWh je Meter Küstenlänge bei Steilküsten und ein Maximalwert von 100 kWh je Meter Wellenwalze auf hoher See angegeben. Hauptproblem ist die stark wechselnde Intensität der Wellenbewegungen. Bei Winterstürmen beispielsweise kann sich die Wellenenergie um das Hundertfache erhöhen.

Es werden derzeit unterschiedliche technische Prototypen erprobt. Schwierigkeiten werden bei Anlagen auf hoher See erwartet. Im Jahr 2013 ging im spanischen Baskenland mit dem Werk Mutriku das erste kommerzielle Wellenkraftwerk ans Netz. Inzwischen werden weltweit an verschiedenen Stellen unterschiedliche Kraftwerkstypen als Prototypen betrieben. In Schottland wird seit Jahren ein schwimmendes Kraftwerk getestet und weiterentwickelt. Derzeit wird in Australien von schottischen Herstellern ein weiteres Kraftwerk errichtet, mit dem der Betrieb und die Betriebsanforderungen im Dauerbetrieb erkundet werden sollen. Die Universität Duisburg wird demnächst zusammen mit Partnern an der holländischen Küste einen neuen Kraftwerkstypen im Betrieb vor der niederländischen Küste erkunden. Dies alles zeigt, dass in den vielfältigen technischen Strukturen auch künftig große Einsatzmöglichkeiten für verschiedene Meeresbereiche erkannt werden.

Wärmepumpenanlage

Mit der Wärmepumpe wird der Wärme-Kraft-Prozess umgekehrt. Es wird daher Wärmeenergie aus einem Reservoir mit geringer Wärmeenergie – meist aus der natürlichen Umgebung – aufgenommen und mit der Hilfe technischer Arbeit auf ein verwendbares höheres Temperaturniveau angehoben. Dieser Prozess kann auch zum Kühlen benutzt werden, indem ein isolierter Innenraum als Wärmereservoir verwendet wird. Diese allgemeine Beschreibung zeigt, dass dieser Prozess technisch auf viele verschiedene

Arten genutzt werden kann. Daher verwundert es nicht, dass dabei nicht nur Energie aus dem Meer, sondern auch aus vielen anderen Umgebungen gewonnen und entsprechend genutzt werden kann.

Bisher gibt es nur wenige große Wärmepumpenanlagen. Die größte Anlage mit Meerwasser-Wärmepumpen arbeitet bereits mit erheblichem Erfolg in Stockholm. Seit 2016 wird die gewonnene Wärmeenergie mit einer Leistung von 420 MW - zusammen mit der Wärmeenergie aus anderen Wärmequellen - in ein Fernwärmenetz eingespeist, das rund 2,1 Mio. Einwohner der Region mit Wärme versorgt. In Wien wurde 2019 eine Wärmepumpenanlage mit einer Leistung von 30 GW an das Fernwärmenetz der Stadt angeschlossen und in Betrieb genommen.

Geothermie

Mit Geothermie wird sowohl die geowissenschaftliche Erkundung der thermischen Gegebenheiten, als auch die ingenieurtechnische Nutzung von Erdwärme bezeichnet. In der Erdkruste, in der äußersten festen Schale des Erdkörpers, wird Wärme über die Wärmeleitfähigkeit des dort vorhandenen Materials von innen nach außen hin zur Erdoberfläche transportiert. Die Erdwärme im Erdkern und im Erdmantel entsteht größtenteils durch dort ablaufende radioaktive Zerfallsprozesse und ist zu einem kleineren Anteil auf Restwärme aus dem Entstehungsprozess der Erde als Planet zurückzuführen. Der Wärmegehalt des Erdkrustenmaterials nimmt daher mit zunehmender Entfernung von der Erdoberfläche – also mit zunehmender Tiefe – zu. Die Strecke, auf der die Erdkruste mit zunehmender Tiefe um ein Grad Kelvin (dies entspricht 1 °C) wärmer wird, ist die geothermische Tiefenstufe.

Natürlich ist dieser Wert abhängig vom jeweiligen Aufbau des lokalen Untergrunds und kann sich lokal und regional stark verändern. So beträgt der Wert dieser geothermischen Tiefenstufe in alten Kontinentalkrusten - wie beispielsweise in Südafrika – zwischen 90 und 170 m/°K, in den Alpen im Gotthardmassiv etwa 50 m/°K und in der Schwäbischen Alb sogar nur 11 m/°K. Der globale mittlere Wert liegt bei 33 m/°K. Zudem gibt es grundsätzlich unterschiedliche thermische Leitfähigkeiten und regional auch zusätzliche Wärmequellen im Untergrund, die diesen Wert aufgrund der Untergrundstrukturen auch regional beeinflussen können.

Dieses Wärmepotential kann zum Gewinnen von Energie genutzt werden. Sie wird derzeit – je nach Energieangebot und Tiefe – auf drei verschiedenen Wegen gewonnen:

- In geringen Tiefen werden Wärmepumpen eingesetzt, um die Wärmeenergie zum Heizen zu gewinnen. In diesen oberflächennahen Bereichen werden - je nach Anforderung - Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Energiepfähle oder Wärmebrunnenanlagen eingesetzt.
- In mittleren und größeren Tiefen werden - je nach angetroffener Temperatur im Untergrund – unterschiedlich konzipierte Wärmepumpenanlagen eingesetzt. Je nach verwendeter Technik kann über eine Kraft-Wärme-Kopplung sowohl elektrischer Strom als auch Wärme erzeugt werden.

- In mittleren und größeren Tiefen wird – je nach angetroffener Temperatur im Untergrund – Wasser verdampft und mit dem Dampf eine Turbine zum Erzeugen von elektrischem Strom angetrieben.

Bei der oberflächennahen Nutzung von Geothermie werden in der Umgebung der zu beheizenden Häuser geschlossene Leitungssysteme in der Form von Erdwärmekollektoren oder Erdwärmesonden in Bohrungen in den Untergrund eingebaut. In diesen Leitungen wird eine Flüssigkeit in die Tiefe gepumpt, nimmt dort die Erdwärme auf und steigt dann erwärmt auf um in einer Wärmepumpe die Wärme abzugeben. Danach wird die kalte Flüssigkeit zum Aufwärmen wieder in die Tiefe gepumpt.



Dort wo die Erde dampft steht auch ein großes geothermisches Kraftwerk mit Kühlturm. In Italien in der Toskana werden zeitweise bis zu 65 % des dort benötigten Stroms aus geothermischer Energie erzeugt.

Sofern genügend Wärmeenergie aus dem Untergrund geliefert wird, kann auch ein Teil der Wärme zum Erzeugen von elektrischem Strom aus dem Prozess der Wärmeverwendung ausgekoppelt und zum Erzeugen von elektrischem Strom verwendet werden. Dafür werden in entsprechenden Heizkraftwerken entweder Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung oder bei kleineren Einheiten auch Blockheizkraftwerke zum Gewinnen von Wärme und Strom eingesetzt.

Bei der Tiefengeothermie werden entweder heißes Wasser oder Dampf aus dem tiefen Untergrund gefördert, über Turbinen zur Stromgewinnung und dann über Wärmeaustauscher in ein Fernwärmenetz zur Wärmeverteilung geführt, um dann abgekühlt in einer zweiten Bohrung wieder in den Untergrund zurückgeführt zu werden.

Weiterhin wird derzeit geothermische Energie nebenbei vereinzelt auch aus Bergbauanlagen oder beim Betrieb großer Tunnelanlagen gewonnen.

In Neuseeland werden mit dem geförderten Dampf geothermische Kraftwerke mit elektrischen Leistungen von 110 MW (Kraftwerk Ohaaki), oder 140 MW (Kraftwerk Wairakei), in Island mit 120 MW (Kraftwerk Nesjavellir), oder 213 MW (Kraftwerk Hellisheidi), in Italien mit 750 MW (Kraftwerk Larderello) und in Kalifornien in den USA mit 850 MW (Geothermal-Field The Geysers) betrieben.

In Deutschland wurden bisher bei Urach die höchsten förderbare Wassertemperaturen mit 170 °C angetroffen. Damit ist in Deutschland die geothermische Energiegewinnung nur dort sinnvoll, wo vor allem Fernwärmenetze gespeist werden können und mit dem eher geringen Druck über Spezialturbinen auch etwas elektrischer Strom erzeugt werden kann. Derzeit werden solche Kraftwerke bei Landau mit einer elektrischen Bruttoleistung von 6 bis 8 MW oder im Großraum München mit elektrischen Bruttoleistungen von 5 bis 5,5 MW betrieben.

Im Bereich der Tiefengeothermie gibt es in Deutschland derzeit 37 Anlagen mit einer installierten Wärmeleistung von 336,5 MW und einer installierten Stromleistung, 37,1 MW. Im Bereich der oberflächennahen Geothermie werden derzeit 390.000 Anlagen mit einer installierten Wärmeleistung von 4.290 MW betrieben.

Im Jahr 2017 waren weltweit etwa 23 GW an Wärmeleistung geothermischer Anlagen und etwa 14 GW an elektrischer Leistung installiert. Mit Hilfe dieser verschiedenartigen Anlagen wurden global etwa 79 TWh an elektrischer Arbeit bereitgestellt.

Obwohl dieses Energiepotenzial außerordentlich groß ist, spielt es auch für die globale Energiebereitstellung insgesamt bisher nur eine untergeordnete Rolle. Nur in bestimmten Regionen wie vulkanisch aktiven Gegenden oder Schwächezonen am Rande von Erdplatten ist Geothermie heute sehr interessant. In Deutschland kommen bisher für diese Energiegewinnung nur wenige Gegenden - wie beispielsweise der Oberrheingraben, Teile der Schwäbischen Alb oder des Molassebeckens nördlich der Alpen in Frage. In Grabenstrukturen wie dem Oberrheingraben wurden mächtige Sedimentserien abgelagert. Dort können Bohrungen, bei denen die natürliche Abtrennung zwischen verschiedenen Schichten im Bohrloch nicht mehr korrekt wiederhergestellt wird, dramatische Auswirkungen haben. Abschreckende Beispiele sind in Staufen/Breisgau oder in Basel zu besichtigen. Werden wassersperrende Schichten durchbohrt und dringt durch das Bohrloch Wasser in bisher trockene Schichten ein, kann dies das Bodengefüge erheblich verändern. Aufquellende Schichten (wie beispielsweise Anhydrit – $\text{Ca}[\text{SO}_4]$) können die Tragfähigkeit des Untergrundes einer ganzen Region zerstören.

Wegen der erheblichen potenziellen Bedeutung dieser Energieform hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – BMU zahlreiche Forschungsvorhaben initiiert. Die Risiken, die gebotene Sicherheit bei zweifelhaftem Untergrund gewährleisten zu können, werden als beherrschbar betrachtet, sofern die Bohrungen unter der Aufsicht der entsprechenden Fachkräfte abgeteuft und ausgebaut werden.

In einer Stellungnahme hat der Präsident des Bundesverbandes Geothermie festgestellt, dass die Suche nach einem Atom-Endlager massiv die Entwicklung der Erdwärmee-Nutzung in Deutschland behindert. Faktisch seien alle Gebiete für Geothermie gesperrt,

da die Suche von einer „weißen Landkarte“ ausgehen müsse, auch in Regionen die aufgrund ihrer geologischen Beschaffenheit überhaupt nicht infrage kommen dürften.

Wasserstoff

Zum Thema Wasserstoff als Energieträger wird im Rahmen dieses Aufsatzes verzichtet, da Wasserstoff als grundlegender Energieträger bereits ausführlich in verschiedenen Aufsätzen auf dieser Webseite beschrieben ist. In den Aufsätzen „[Verkehrswende \(Teil 2\)](#)“ und „[Verkehrswende \(Teil 3\)](#)“ wird seine Eigenschaft als Grundstoff für synthetische Kraftstoffe angesprochen. In den Aufsätzen „[Zielgerichtet – auf welche und wessen Ziele?](#)“ und „[Wasserstoff aus der LOHC-Pfandflasche](#)“ wird Wasserstoff in Verbindung mit der Brennstoffzellentechnologie als Kraftstoff und auch als Medium zum Speichern elektrischer Energie angesprochen. In allen diesen Aufsätzen wird Wasserstoff zusätzlich als Energieträger für verschiedene Verkehrssysteme angesprochen, die als Antriebstechnik Elektromotoren und das Erzeugen des elektrischen Fahrstroms mit Hilfe der Brennstoffzellen-Technologie nutzen.

FiWiSo-Allianz

sele im Oktober 2019

Bilder: copyright rnl

Fortsetzung in: Verkehrswende – Teil 3

(bitte auf folgender Seite unten öffnen)

<https://www.fiwiso-allianz.de/162>