

*„Es kommt nicht darauf an, die Zukunft vorherzusagen, sondern es kommt darauf an, auf die Zukunft vorbereitet zu sein.“
Perikles, 500 v. Chr*

Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland¹ – Die Rolle der Biomasse.²

Dr. Joachim Nitsch, DLR Stuttgart

1. Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung.

Die Zielsetzung der Untersuchung war es - am Beispiel der Energieversorgung Deutschlands - **Entwicklungspfade** oder Szenarien der zukünftigen Energieversorgung zu ermitteln, die den Prädikaten **Nachhaltigkeit** und **Zukunftsfähigkeit** genügen. Damit diese Begriffe keine unverbindlichen Worthülsen bleiben, wurden in der Studie ein Reihe von Kriterien benutzt, mit denen die Qualität der Pfade überprüft werden kann. Diese sind im wesentlichen:

- Wirksamer Klimaschutz (Hauptkriterium; -80% bis 2050 in Industrieländern)
- Effektive Ressourcenschonung, insbesondere Verringerung der Abhängigkeit vom Mineralöl
- Jederzeitige und dauerhafte Versorgungssicherheit (technisch, strategisch)
- Umfassende Wirtschaftlichkeit (Einzelwirtschaftlichkeit, gesamte Volkswirtschaft, Einbeziehung externer Kosten)
- Risikoarmut und Fehlertoleranz (auch bei Missbrauch)
- Soziale und internationale Verträglichkeit

Diese Kriterien werden nur von Pfaden erfüllt, die eine sehr effiziente Nutzung aller fossilen Energieträger mit einem schrittweisen, kontinuierlichen Ausbau aller Arten erneuerbarer Energien kombinieren. Die – nicht überraschende - Erkenntnis lautet: Es gibt keine einzelne „Wundertechnologie“ und keinen „technologischen Durchbruch“ mit dem man diese Kriterien erfüllen könnte. Nur eine **wohldurchdachte Nutzung und Vernetzung aller technischen und strukturellen Optionen** und ein stetiger Umbau der heutigen Energieversorgung sowohl auf Seiten einer „effizienteren Wandlung und Nutzung von Energie jeglicher Art“ als auf Seiten der „Erneuerbare Energien“ können diese Kriterien erfüllen.

Gemäß dem Titel der Studie standen zwar die **Erneuerbaren Energien (EE)** im Mittelpunkt der Untersuchung, aber es war selbstverständlich erforderlich, das gesamte Energiesystem zu betrachten und seine Wandlungsfähigkeit über mehrere Jahrzehnte hinweg zu untersuchen. Wir haben deshalb die drei Bereiche „Stromversorgung“, „Wärmeversorgung“ und „Verkehr“ einerseits für sich betrachtet und die jeweils mögliche Rolle der EE dort untersucht, als auch die sehr vielfältigen gegenseitigen Wechselwirkungen analysiert, die zwischen diesen Sektoren bestehen.

Die wesentlichen Ergebnisse sind:

1. **Potenziale von EE** zur Deckung des Energiebedarfs gibt es in ausreichendem Maße. Schon die sog. „heimischen“ Potentiale an Windenergie, der Biomasse, der Strahlungsenergie und der Erdwärme reichen aus – um rund 55% des heutigen Verbrauchs zu decken – und bis zu 100% bei entsprechend effizienter Nutzung der Energie. (Strom bis zu

¹ Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit FKZ 901 41 803

² Beitrag für den Fachkongress: „Kraftstoffe der Zukunft 2004.“, Berlin 29. November 2004.

115%; Wärme bis zu 60% und Kraftstoffe bis zu 20%). Wir können mit ihrer Mobilisierung innerhalb der nächsten Jahrzehnte ein Maß an Versorgungssicherheit und Unabhängigkeit erreichen, wovon eine fossile Energieversorgung nur träumen kann.

2. Strenge Anforderungen, die wir aus der **Sicht des Naturschutzes** an die Mobilisierung der Potentiale gestellt haben, reduzieren für einzelne Energiearten, nämlich Wasserkraft, Windnutzung an Land und Biomasse die jeweiligen Potenziale um 20 bis 30%. Da aber die großen Potenziale der Solarstrahlung und der Erdwärme durch die zusätzlichen naturschutzfachlichen Belange nur wenig berührt werden, verringern sich das eben genannte Gesamtpotenzial lediglich um 5 Prozentpunkte auf rund 50% (bezogen auf den heutigen Energieverbrauch)
3. Zur Nutzung der vielfältigen Erscheinungsformen der EE stehen **zahlreiche Technologien** zur Verfügung, die sich im Hinblick auf Entwicklungsstand, Kosten, Einsatzbereiche und Potenziale jedoch noch deutlich voneinander unterscheiden. In der Studie wurden rund 50 Einzeltechnologien betrachtet, deren Daten auf Grund der parallel bearbeiteten Spartenuntersuchungen den umfassendsten und aktuellsten Stand des Wissens zu EE-Technologien darstellen. Um die jeweiligen Vorteile der verschiedenen Technologien optimal auszunutzen und sie miteinander vernetzen zu können, muss die ganze Bandbreite der verfügbaren Optionen zur Marktreife gebracht und Schritt für Schritt in die bestehenden Versorgungsstrukturen integriert werden.
4. Die meisten der heute genutzten Techniken zur Nutzung von EE befinden sich in einer **frühen Phase der Marktausweitung**, dementsprechend liegen auch die Kosten für die Energiebereitstellung aus EE in der Regel heute noch über den Kosten der konventionellen Konkurrenzsysteme. Durch technische Weiterentwicklungen, verbesserte Herstellungsverfahren und durch Fertigung in größeren Serien können diese Kosten noch erheblich reduziert werden. Dieser bei vielen Technologien beobachtete Zusammenhang zwischen spezifischen Kosten und kumulierter Produktionsmenge ist für die Bewertung der Leistungsfähigkeiten der noch „jungen“ EE-Technologien von wesentlicher Bedeutung. Die detaillierte Analyse auf der Basis von Lernkurven zeigt, dass die meisten Technologien bei Gewährleistung ausreichend hoher Wachstumsraten bis zum Jahr 2020 ihre Kosten auf ein Niveau zwischen 30 und 60% der heutigen Kosten und im weitgehend ausgereiften Zustand auf 20 bis unter 50% zu senken im Stande sind. Seit 1990 sind die mittleren Kosten der EE-Technologien bereits um den Faktor 1,5 bis 2 gesunken – im Strombereich nicht zuletzt durch die Wirkung des EEG. **EE sind somit die einzige uns zur Verfügung stehende Energieart, deren Kosten in Zukunft dauerhaft sinken werden.**

Ein konkretes Beispiel: Die Stromerzeugungskosten eines repräsentativen EE-Mixes aus neuen Anlagen liegen derzeit bei ca. 9,5 ct/kWh. Bis 2020 dürfte er bei 7 ct/kWh und längerfristig bei 5,5 ct/kWh liegen - für emissionsfreien, praktisch unbegrenzt verfügbaren Strom ohne Preisrisiken !

5. Es ist **ökonomisch vorteilhaft**, die dezentrale „heimische“ Nutzung von EE rechtzeitig in ein System der transeuropäischen Nutzung von ergiebigen und damit kostengünstigen Potentialen von EE zu integrieren. Das sollte etwa ab 2015 beginnen und insbesondere Wind an den Atlantikküsten und Strom aus Solarthermischen Kraftwerken in Südeuropa und Nordafrika einschließen. Die gesamtwirtschaftlichen Vorteile liegen auf der Hand: die Potenziale sind praktisch unbeschränkt; es ergibt sich eine weitere Kostenersparnis trotz Transport über größere Entfernungen; die großräumige Vernetzung von EE erhöht die technische Verfügbarkeit und stärkt die internationale Kooperation im europäisch-mediterranen Raum in enormen Ausmaß. Ein zusammenwachsendes Europa im Rahmen eines liberalisierter und globalisierten Energiemarkts verlangt geradezu nach einer derartigen Perspektive.

6. Der Bandbreite der heutigen Strom- und Wärmegestehungskosten entsprechend spannen auch die **CO₂-Vermeidungskosten** einen großen Bereich auf. Sie liegen heute für die Stromerzeugung aus Windkraft, Geothermie, solarthermischen Kraftwerken und Biomasse zwischen 40 und 80 €/t CO₂, während sie für die Fotovoltaik und für Solarkollektoren noch zwischen 800 und 1000 €/t CO₂ betragen, Wegen der sinkenden Kosten für die Nutzung von EE und der gleichzeitig steigenden fossilen Brennstoffpreise werden die CO₂-Vermeidungskosten mittelfristig (2020) auf 10 bis 20 €/t CO₂ sinken (Fotovoltaik und Solarkollektoren auf rund 100 €/t CO₂). Langfristig werden für die meisten EE- Technologien negative CO₂-Vermeidungskosten erreicht. D. h. durch den Einsatz von EE kann, neben einer Verminderung von CO₂-Emissionen, gleichzeitig eine Verminderung des volkswirtschaftlichen Aufwands für die Energieerzeugung erreicht werden gegenüber dann teureren fossilen Energien.
7. Für alle Technologien wurden **sehr detaillierten Ökobilanzen** aufgestellt. Das Ergebnis ist: Für alle Energieketten auf der Basis von EE ist der Einsatz erschöpflicher Energieressourcen und die Emissionen klimaschädlicher Gase (hauptsächlich für die Herstellung der Anlagen) im Vergleich zum konventionellen System **äußerst niedrig** sind. Bei den anderen Umweltwirkungen wie Versauerung, Eutrophierung und Sommersmog gibt es keine eindeutige Vorzüge der EE, aber auch keine gravierenden Nachteile. Die Unterschiede zu konventionellen Anlagen hängen stark von den jeweiligen Technikkonfigurationen ab. Die zulässigen lokalen Emissionen sind also nach wie vor, entsprechend den geltenden Vorschriften stetig dem Stand der Technik anzupassen .
8. **Materielle Ressourcen**, wie Eisenerz oder Bauxit, werden durch EE-Technologien in ähnlichem Umfang wie von konventionellen Systemen in Anspruch genommen. Punktuelle Ausnahmen gibt es bei der Fotovoltaik und Sonnenkollektoren. Insgesamt steigt z.B. durch den Ausbau von EE in der Stromerzeugung auf einen Anteil von 65% bis 2050 der dadurch erforderliche Bedarf an Eisen gegenüber einer konventionellen Bereitstellung um 1,5 Prozentpunkte von sonst 4,0% auf 5,5 % des gesamten Eisenbedarfs in Deutschland. Er bleibt also nach wie vor klein im Vergleich zum Bedarf des Bausektors und des Fahrzeugbaus.
9. Zukünftig werden die Umweltauswirkungen durch die **Erschließung von Optimierungspotenzialen** und durch die Verbesserungen in der Material- und Energiebereitstellung - ähnlich wie bei den Kosten - die Umweltwirkungen weiter reduziert. Die Umweltwirkungen der im Jahr 2030 gebauten EE –Anlagen können gegenüber den Anlagen von heute um 20 bis 30 %, im Fall der Photovoltaik sogar um 50 % gesenkt werden.
10. Abschließend zu den ökologischen Aspekten soll festhalten werden, dass wir ausdrücklich eine **EE- Ausbaustrategie unter Beachtung strenger Naturschutzkriterien empfehlen**. Sie trägt zur weiteren Steigerung der Akzeptanz von EE bei und sie kann den Nachweis erbringen, dass lediglich EE in der Lage sind, eine tatsächlich „naturerhaltende“ Energieversorgung zu ermöglichen.
11. Alle Ausbaupfade auf der Basis von „Effizienter Energienutzung und „Ausbau erneuerbarer Energien“ erfüllen die Bedingungen eines wirksamen Klimaschutzes **und werden gleichzeitig „früher oder später“ auch ökonomisch vorteilhaft**. D.h. die Gesamtkosten der Energieversorgung werden günstiger als beim Verharren in einer fossilen oder fossil-nuklearen Energieversorgung. Der Ausbau von EE entkoppelt die Energieversorgung von den stetig steigenden Preisen der fossilen Ressourcen (welche Gefahren von dieser Abhängigkeit ausgehen, wird derzeit sehr anschaulich an den rasant steigenden Ölpreisen bis über 50 \$/b sichtbar).
12. Die mittel- bis langfristige **ökonomische Vorteilhaftigkeit** wird noch deutlicher, wenn man diejenigen Technologieoptionen überprüft, die eine emissionsarme fossile Energieversorgung versprechen. Dies ist die **CO₂-Rückhaltung bei Kohle** – dem einzigen län-

gerfristig verfügbaren fossilen Energieträger. Geht man davon aus, dass dies technologisch sinnvoll machbar und ökologisch verträglich ist, zeigen die derzeit verfügbaren Kostenschätzungen, dass Strom aus diesen Kraftwerken mindestens **7,5, bis 8 ct/kWh** kosten würde, während EE- Strom dann zu etwa **5,5, bis 6 ct/kWh** zu haben ist (und dies praktisch unbeschränkt und ohne beträchtliche Mengen an verflüssigtem CO₂ in begrenzten Lagerstätten deponieren zu müssen). Eine wesentliche Schlussfolgerung unserer Untersuchung ist deshalb: Ein realistischer Kostenvergleich zwischen technologischen Zukunftsoptionen zur Energieversorgung muss vor dem Hintergrund des Klimaschutzes stets **die vollen Vermeidungskosten von CO₂ berücksichtigen**. Sonst kommt man zu falschen Schlussfolgerungen hinsichtlich der längerfristigen Wirksamkeit und Vorteilhaftigkeit einzelner Technologien bzw. Energieträgern.

13. Eine wesentliche Frage ist, **wie schnell die Kostensenkungspotenziale der EE mobilisiert werden können** und wann EE selbsttragende Märkte bilden können. Wir haben dies abgeschätzt, ausgehend von heutigen Kostenrelationen und unter bestimmten, eher zurückhaltenden, Annahmen zu den Preisanstiegen fossiler Energieträger. Um den jetzt eingeschlagenen Weg des EE-Ausbaus aufrechterhalten zu können und ihn dauerhaft zu machen, sind Vorleistungen der Volkswirtschaft erforderlich. In der Preisvariante ohne aktiven Klimaschutz sind dies bis 2020 jahresdurchschnittlich rund 4,2 Mrd. €/a (über alle Bereiche, also Strom + Nutzwärme + Kraftstoffe). Das hört sich vielleicht hoch an, es sind aber lediglich 2% der jährlichen Gesamtkosten der Energieversorgung (Strom 6,7%; Kraftstoffe 3% und Nutzwärme 0,9%). Bei aktivem Klimaschutz, also wenn mittels Emissionshandel oder anderen Klimaschutzinstrumenten CO₂-Emissionen zu einem Kostenfaktor werden, sinken diese dem EE-Ausbau zuordenbaren Kosten. Nach 2030 beginnt dann diese Ausbaustrategie der Volkswirtschaft Geld einzusparen gegenüber einer Entwicklung, die weiterhin auf fossile Energien setzen würde. Im Jahr 2050 sind es rechnerisch bereits rund 5 Mrd. €/a Minderkosten. Die in den nächsten zwei Jahrzehnten noch zu tätigen Vorleistungen sind also **eine „kluge“ Investition** in die Zukunft unserer Volkswirtschaft und unserer natürlichen Umwelt.
14. Zur Sicherheit sei betont, dass alle Erfolg versprechenden Klimaschutzstrategien aus der Sicht der heutigen Energiepreisrelationen Vorleistungen benötigen – nicht nur die EE. Letztere dürften jedoch - wie ausgeführt – zur **größten und nachhaltigsten volkswirtschaftlichsten Rendite** führen. Würden nämlich bereits die heutigen Energiepreise die vollen Vermeidungskosten einer Klimaveränderung und einer Verknappung der Ressourcen enthalten, so wären weder Vorleistungen noch die entsprechenden Instrumente erforderlich – diese sollen ja gerade dieses Marktversagen korrigieren.
15. Parallel zu diesen Vorleistungen werden allein durch den Ausbau der EE beträchtliche **Investitionen** mobilisiert. Sie belaufen sich im Zeitraum bis 2020 allein für den Inlandsmarkt auf jahresdurchschnittlich **8,5 Mrd. €** und längerfristig auf **18 bis 20 Mrd. €/a**. Wir erlangen also durch die Vorleistungen – wenn wir sie verlässlich und mittels geeigneter Instrumente einsetzen – beträchtliche Vorteile:
 - eine Entkopplung von knapper und stetig teurer werdenden fossilen Ressourcen
 - eine klimaneutrale, umwelt- und naturverträgliche Energieversorgung
 - eine neue High-Tech-Branche mit beträchtlichen Jahresumsätzen (weltweite Märkte sind zu beachten) und einigen hunderttausend stabilen Arbeitsplätzen
 - und generell einen verringerten, optimierten Energieeinsatz, weil sich zunehmen auch Investitionen in Effizienztechnologien „lohnen“.
16. Aus den gesamten Modellrechnungen lässt sich ein empfehlenswerter **„Fahrplan“** für den EE-Ausbau ableiten und zwar für jeden Sektor – Stromversorgung, Wärmeversorgung, Verkehr - getrennt. Strom mit heute bereits knapp 8% EE-Anteil bleibt weiterhin Vorreiter mit 30% in 2020, 50% um 2035 und 65% um 2050. Die Wärmeversorgung (heute rund 4% EE-Anteil) folgt mit 12% in 2020 und knapp 50% in 2050. Zuletzt kommt der

Verkehr (heute 0,9%) mit 6% in 2020 und 30% in 2050. Für die gesamte Primärenergie, deren EE-Anteil heute bei 3,1% liegt, gilt: rund 10% Anteil im Jahr 2010, dann jedes Jahrzehnt weitere 10 Prozentpunkte; also in 2050 rund 50%.

17. **Speziell für die anstehenden Investitionen im Kraftwerkssektor ist es von höchster Wichtigkeit**, dass diese auf alle Optionen ausgewogen verteilt werden. Richtschnur für Investitionen in die Stromerzeugung im Zeitraum bis 2020 sollte sein, je ein Viertel des Strombedarfs durch (a) erhöhte Nutzungseffizienz zu vermeiden, (b) durch dezentrale effiziente Kraftwerke mit Kraftwärmekopplung, (c) durch EE und (d) durch die heute üblichen große Kondensations- und Heizkraftwerke bereitzustellen. Dies entspricht einem Zubau von 20 000 MW in größere Kraftwerke und Heizkraftwerke einerseits und 20 000 MW in BHKW und kleinere HKW im Industriebereich andererseits sowie von 40 000 MW in Anlagen zur Nutzung von EE (dort auch Ersatz der heute installierten Windanlagen bei einer angenommenen Nutzungsdauer von 15 Jahren). Die hier vorgeschlagene Ausbaustrategie für den Stromsektor kann nur **bei einer „rechtzeitigen“ Investition** in die betreffenden Kraftwerksarten zeitgerecht umgesetzt werden. Im Schaffen der entsprechenden Rahmenbedingungen besteht eine große energiepolitische Herausforderung
18. **Das Resümee** der Untersuchung lautet zusammenfassend: Der Ausbau von EE kann in fünf Phasen verlaufen. Gleichzeitig muss das gesamte Energiesystem wesentlich effizienter werden und es muss ein stetiger Anpassungsprozess zwischen konventioneller und neuer – auf EE basierenden - Energieversorgung stattfinden. Die fünf Phasen sind:
- **Phase 1: Bis 2010:** Energiepolitisch gestützter „**Einstieg**“ durch Zielvorgaben und wirksame, auf erneuerbare Energien zugeschnittene Instrumentenbündel; also dem EEG für Strom, einem vergleichsweise wirksamen „Instrument zur Förderung des EE-Ausbaus im Wärmesektor und der Steuerbefreiung für REG-Kraftstoffe
 - **Phase 2: 2010 – 2020:** „**Stabilisierung**“ des Wachstums der EE mit technischer Ausreifung und deutlicher weiterer Kostendegression bei allmählicher Überleitung der EE-spezifischen Instrumente in Instrumente des generellen Klimaschutzes, also z.B. in den Emissionshandel. Auch eine weiter entwickelte Öko- oder CO₂-Steuer könnte dies sein
 - **Phase 3: 2020 – 2030:** Vollwertige „**Etablierung**“ aller neuen Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien mit optimierten Beiträgen in den einzelnen Verbrauchssektoren und beginnende Nutzung kostengünstiger Potenziale in ganz Europa und dem Mittelmeerraum mittels einer Verbundversorgung für Strom; eine weitere Förderung erfolgt nur noch singulär (z. B. Photovoltaik)
 - **Phase 4: 2030 – 2050:** Beginnende „**Dominanz**“ erneuerbarer Energien in allen Bereichen der Energieversorgung und beginnende Verwendung von regenerativem Wasserstoff im Verkehr und zum Strommanagement
 - **Phase 5: Nach 2050:** Fortschreitende „**Ablösung**“ der fossilen Energieträger und Etablierung einer vollständig auf erneuerbaren Energien beruhenden Energiewirtschaft u. a. durch die optimale Einpassung einer „Wasserstoffwirtschaft“ in die solare Energieversorgung.

2. Potenziale der Biomasse

Bioenergieträger können aus einer Vielzahl biogener Ressourcen bereitgestellt werden, die vor allem der Land- und Forstwirtschaft entstammen, aber auch aus anderen Bereichen wie aus der Landschaftspflege, industriellen Prozessen oder Haushalten. Grundsätzlich schließen sich Naturschutz und Biomassebereitstellung nur auf sehr wenigen Kernflächen des Naturschutzes (z. B. Prozessschutzflächen in Kernzonen von Nationalparks) vollständig aus. Eine Flächenkonkurrenz im engeren Sinne spielt bei der Ermittlung der Potenziale für

Energie aus Biomasse daher nur eine untergeordnete Rolle. Vielmehr stehen bei deren Ermittlung unterschiedliche Flächenbelegungen landwirtschaftlicher Flächen, z. B. durch Acker- oder Grünlandnutzung, im Vordergrund. Hierzu zählt insbesondere - mit dem größten Einzelpotenzial - die Flächenbelegung landwirtschaftlicher Flächen durch mehrjährige Pflanzen, die auf stark erosionsgefährdeten Standorten aus Naturschutzsicht erwünscht sein kann. Gegenüber der Bereitstellung der Biomasse ist die energetische Umwandlung von Biomasse unter Berücksichtigung der derzeitigen rechtlichen Rahmenbedingungen aus Naturschutzsicht von untergeordneter Bedeutung.

Ausgangspunkt der Flächenpotenzialermittlung ist die derzeitige Flächennutzung. Die naturschutzspezifischen Flächenansprüche bzw. Kriterien wie z. B. Biotopverbundflächen und erosionsgefährdete Flächen werden auf die derzeitige Flächennutzung übertragen und daraus die zukünftige Flächennutzung unter besonderer Berücksichtigung der Naturschutzaspekte abgeleitet. Dabei ergeben sich nicht nur Abschläge, sondern auch Zuschläge, die bisher bei Potenzialabschätzungen nicht berücksichtigt wurden. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn sich aus Naturschutzanforderungen heraus die Anbaufläche für annuelle Kulturen reduziert, auf diesen Flächen aber zukünftig Grünland entwickelt werden soll, das wiederum Biomasse liefert, die energetisch genutzt werden kann. In Zusammenhang mit der Biomassebereitstellung hat § 3 des Bundesnaturschutzgesetzes, in dem Flächenziele für den überregionalen Biotopverbund vorgegeben sind, eine besondere Bedeutung. Auf den hier als Zielsetzung ausgewiesenen **10 % der Gesamtfläche Deutschlands** werden vorrangig Naturschutzziele angestrebt, was jedoch nicht bedeuten muss, dass hier eine Biomassenutzung ausgeschlossen ist. Vielmehr sind auf diesen Flächen Umnutzungen (Acker zu Grünland) oder Nutzungsextensivierungen zu erwarten, sofern die Flächen nicht bereits derzeit für den Naturschutz ausgewiesen sind und entsprechend genutzt werden.

Damit spielen zwei Biomasseursprungspfade eine Rolle: Anbaubiomasse und Nutzung von Restbiomassen. Die **Anbaubiomasse** wird durch die Flächenpotenziale begrenzt. Dazu ist in **Abb. 1** dargestellt, welchen Einfluss die drei Ziele „Nachhaltigkeitsziele der Bundesregierung wie Ausweitung des Ökolandbaus“, „Bereitstellung von Flächen zum Biotopverbund gemäß §3 und §5 des Bundesnaturschutzgesetzes“ und „Bepflanzen aller erosionsgefährdeten Ackerstandorte mit mehrjährigen Kulturen“ gegenüber einer Politik ausüben, die diese Ziele nicht oder nur teilweise verfolgt. Bei der Umsetzung aller genannten Ziele stehen **in 2010 rund 2,3 Mio. Hektar und in 2050 rund 1,9 Mio. Hektar Ackerlandflächen weniger** für einen landwirtschaftlichen Nichtnahrungsmittelanbau – und damit auch nicht für Energiepflanzen – gegenüber einem „Totalausbau“ gemäß der Potenzialvariante BASIS zur Verfügung (**BASIS: 2,5 Mio. ha in 2010 bzw. 6,1 Mio. ha in 2050**). Im Jahr 2010 kämen demnach nur relativ marginale Flächen um 0,2 Mio. ha für einen Energiepflanzenanbau in Frage. Diese steigen über die folgenden Dekaden jedoch insbesondere auf Grund der Bevölkerungsentwicklung und der Ertragssteigerung in der Landwirtschaft deutlich an und liefern langfristig auch unter strengen Kriterien der Potenzialvariante NaturschutzPlus mit 4,2 Mio. ha ein nennenswertes Biomassepotenzial.

Andererseits ergeben sich aus diesen Restriktionen zusätzliche Potenziale auf Naturschutzflächen, denn auf dem größten Teil der dem Naturschutz zugeführten Flächen kann Biomasse produziert werden. Dazu zählen Biomassen aus der Pflege der Waldsäume, des Offenlands, der Kompensationsflächen und des Biotopverbunds wie auch durch den Mittel- bzw. Niederwald. Durch die Biomasseabfuhr von aus Naturschutzsicht wünschenswerten Flächen ergeben sich inklusive der Biomasse vom Anbau mehrjähriger Pflanzen auf erosionsgefährdeten Standorten immerhin ca. 150 PJ/a zusätzliche Mengen an Biomasse (Abbildung 1, Kreis). Dieses Potenzial entspricht größenordnungs- mäßig beispielsweise der gesamten Biogasmenge aus allen Biomassen oder der gesamten Energiemenge aus allen Restholzfraktionen (Industrierestholz, Altholz und Holz im Hausmüll) und stellt somit ein bisher noch nicht beachtetes enormes Bioenergiepotenzial dar.

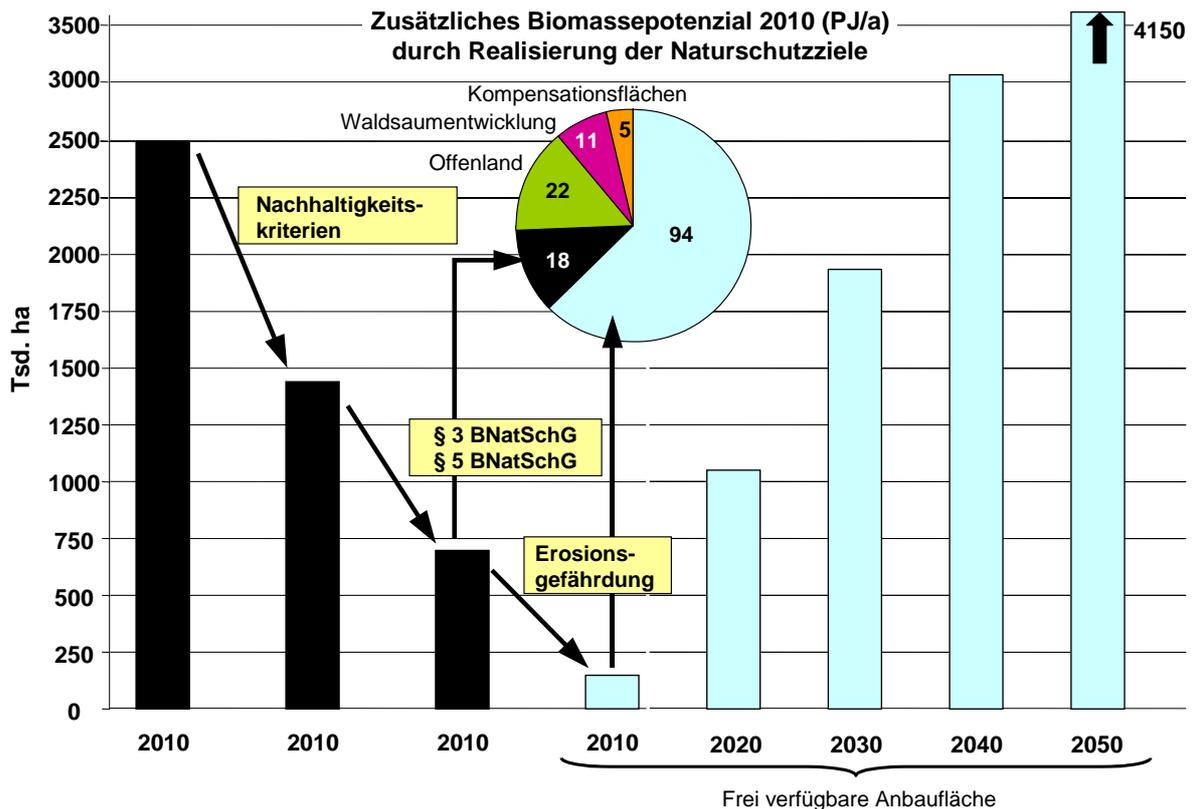


Abbildung 1 : Reduktion von Flächenpotenzialen im Jahr 2010 (ausgehend von der Potenzialvariante BASIS) infolge der Umsetzung verschiedener Naturschutzziele (vier Balken links); daraus resultierendes zusätzliches „Biomassepotenzial“ (150 PJ/a, Tortendiagramm) und zeitliches Wachstum dieser reduzierten Flächen (vier Balken rechts) in der Potenzialvariante NaturschutzPlus bis 2050.

Fügt man obige zusätzlich verfügbare Biomassen den üblichen, bereits in bisherigen Potenzialanalysen erfassten **festen Reststoffen** (Wald- und Schwachholz, zusätzlich erschließbares Waldholz, Stroh, Landschaftspflegegut, Industrierestholz, Altholz, Holz aus Hausmüll, Klärschlamm, Zoomasse, extensives Grünland) hinzu, so erhält man für die Potenzialvariante BASIS eine Energiemenge von rund 740 PJ/a für das Jahr 2010. Diese bleibt über den Betrachtungszeitraum praktisch konstant. Das aus der Vergärung von tierischen Exkrementen und Einstreu, aus Ernterückständen, aus Gewerbe- und Industrieabfällen, aus organischen Siedlungsabfällen entstehende **Biogas** sowie die Klär- und Deponiegaspotenziale ergeben weitere, ebenfalls konstante 160 PJ/a, sodass sich die **Reststoffpotenziale in der Potenzialvariante BASIS auf 900 PJ/a** belaufen. Unter den Bedingungen der **Potenzialvariante NaturschutzPlus** reduzieren sich diese Werte für feste Reststoffe auf 530 PJ/a (2010) bzw. 580 PJ/a (2050) und für Biogase auf 145 PJ/a, also insgesamt auf **675 PJ/a (2010) bzw. 725 PJ/a (2050)**.

Die zur Verfügung stehende Biomasse kann ganz oder teilweise entweder stationär zur Erzeugung von Strom und Wärme oder zur Herstellung von Kraftstoffen verwendet werden. Das gesamte verfügbare Biomassepotenzial hängt, wegen unterschiedlicher Ausbeuten somit auch vom Verhältnis der stationären zur mobilen Nutzung ab, (**Abb.2**). Das energiebezogene Potenzial des Anbaus von Biomassen ist für die stationäre Strom- und Wärmeerzeugung etwa doppelt so groß wie ihre Nutzung für die Herstellung von Biokraftstoffen. Das Potenzial der Reststoffe ändert sich im Laufe der Zeit nicht wesentlich, während das Potenzial für Anbaubiomasse bis zum Jahr 2050 deutlich steigt. Hierdurch wird, insbesondere in der Potenzialvariante NaturschutzPlus, auch ein möglicher Zeitpfad für den Ausbau des Biomassemarktes vor allem im Kraftstoffbereich vorgegeben. Zumindest in den nächsten 20 Jahren

ist das Potenzial zur Nutzung organischer Reststoffe – unabhängig von der Berücksichtigung von Naturschutzbelangen – deutlich größer als das Potenzial der Anbaubiomasse.

Durch die Restriktionen der Variante NaturschutzPlus wird das Potenzial in allen Fällen um etwa 25 % reduziert. Damit wird deutlich, dass durch die Forderungen des Naturschutzes im Bereich des Biotopverbundes zwar gewisse Restriktionen gegenüber einem Totalausbau an Energiepflanzen existieren, andererseits sich aber in den anderen Bereichen zusätzliche nennenswerte Potenziale ergeben, so dass die Kombination „Naturschutz“ und die „energetische Nutzung von Biomasse“ hier Hand in Hand gehen.

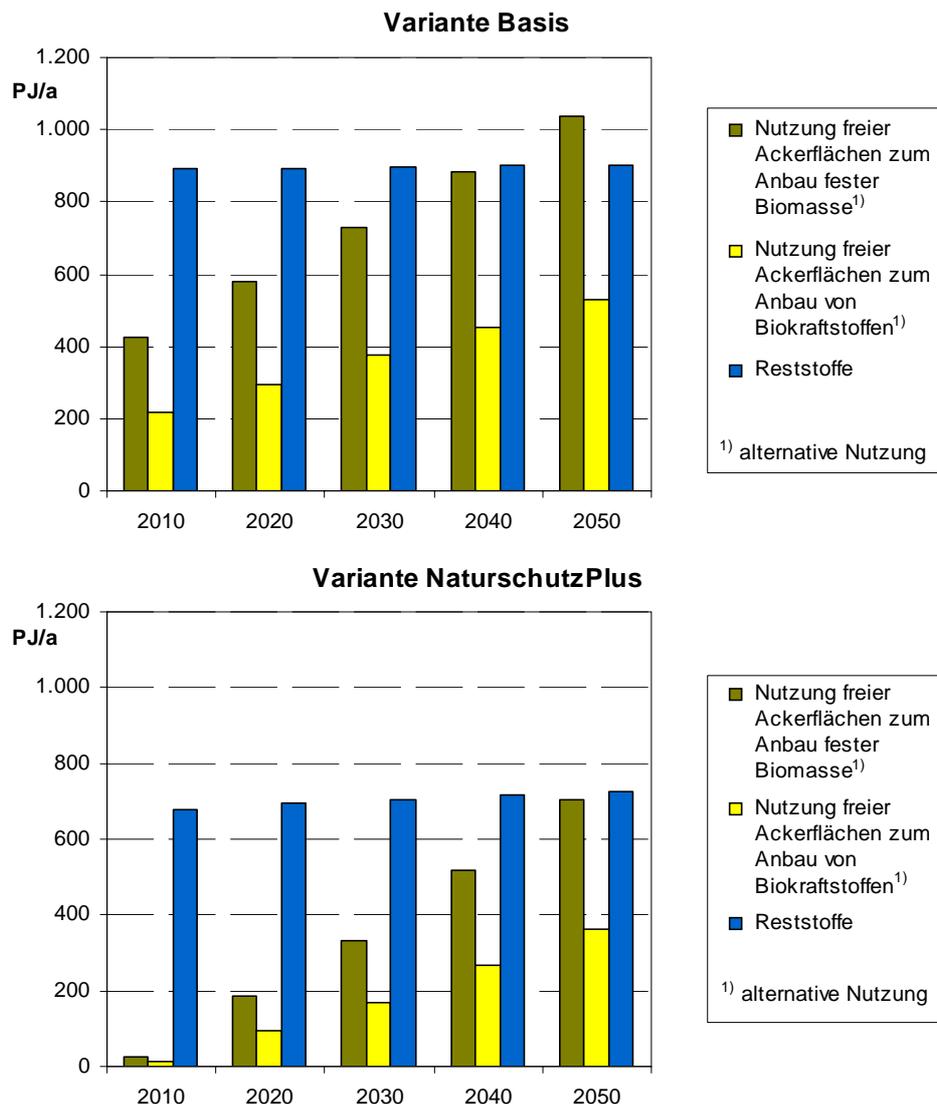


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der Biomassepotenziale von Reststoffen und von Anbauflächen unter Berücksichtigung verschiedener Nutzungsoptionen für Energiepflanzen.

3. Die Szenarien BASIS und NaturschutzPlus - Strukturelle Rahmenbedingungen und die Vorgaben des Naturschutzes beeinflussen die Ausbaustrategien

Um die gesetzten Ziele des Klimaschutzes fristgerecht zu erreichen, müssen bei den hier angenommenen Effizienzsteigerungen von den erneuerbaren Energien bis 2050 noch rund 220 Mio. t/a CO₂-Minderung gegenüber dem Referenzfall erbracht werden. Zur Darstellung unterschiedlicher Ausbaustrategien und ihrer Wirkungen werden vier Szenarien entwickelt. Die **Szenarien BASIS** nutzen dazu die **technisch-strukturellen Potenziale**. Die durch wei-

tere Anforderungen des Naturschutzes wirksam werdenden **Potenzialrestriktionen** werden in den Szenarien **NaturschutzPlus** abgebildet. Sie wirken sich im Bereich der Biomasse, der Windenergienutzung auf dem Land und bei der Wasserkraft aus.

Wesentlichen Einfluss auf die Gestaltung der Ausbaustrategie erneuerbarer Energien haben die unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten der Biomasse (**Abb. 3**). Im **Szenario BASIS I** wird ihrer stationären Nutzung soweit Vorzug eingeräumt, wie es die strukturellen Möglichkeiten des Wärmemarktes zulassen, was zu rund 1.200 PJ/a Brennstoffangebot für KWK-Anlagen und Heizungsanlagen bis zum Jahr 2050 führt und gleichzeitig die Bereitstellung von 300 PJ/a an Biokraftstoffen erlaubt. Ein Ausbau, der neben der Erfüllung des Verdopplungsziels für Strom und Wärme für 2010 auch das Ziel eines möglichst rasch wachsenden Kraftstoffanteils erfüllt (**Szenario BASIS II**) würde im Jahr 2050 zu rund 420 PJ/a Kraftstoffen führen. Damit bleiben im Szenario BASIS II rund 1.000 PJ/a an Brennstoffen für die stationäre Nutzung übrig.

Die Szenarien NaturschutzPlus I und II sind ähnlich definiert. Will man die stationäre Nutzung in ähnlichen Umfang aufrechterhalten wie in BASIS I, so verbleiben nur noch rund 100 PJ/a an Kraftstoffen (**Szenario NaturschutzPlus I**). Soll der Umfang der Kraftstoffbereitstellung etwa so wie in BASIS I erhalten bleiben (**Szenario NaturschutzPlus II**), so reduziert sich der Beitrag an Brennstoffen auf 800 PJ/a. Da gleichzeitig größere Flächen praktisch erst nach 2010 zur Verfügung stehen, beginnt in diesen Szenarien der Einstieg in die Kraftstoffherstellung sehr verhalten. Bei allen Szenarien werden die Reststoffe ausschließlich im stationären Bereich genutzt.

Die Eckdaten der Szenarien für die Bereiche Stromerzeugung, Brennstoff- und Kraftstoffbereitstellung zeigen, dass in den Szenarien BASIS I und II die direkt nutzbaren Beiträge erneuerbarer Energien (44% an der gesamten Primärenergie; rund das 8,5-fache des heutigen Beitrags) ausreichen, um bis 2050 die angestrebte Reduktion der CO₂-Emissionen auf rund 200 Mio. t/a zu erreichen. Eine indirekte Nutzung über Wasserstoff wird noch nicht benötigt. Das liegt u. a. an den beträchtlichen Potenzialen der Biomasse in der Potenzialvariante BASIS. Die Biomasse deckt in den Szenarien BASIS im Jahr 2050 rund 24% des Endenergieverbrauchs (bezogen auf den derzeitigen Endenergieverbrauch sind es rund 12%).

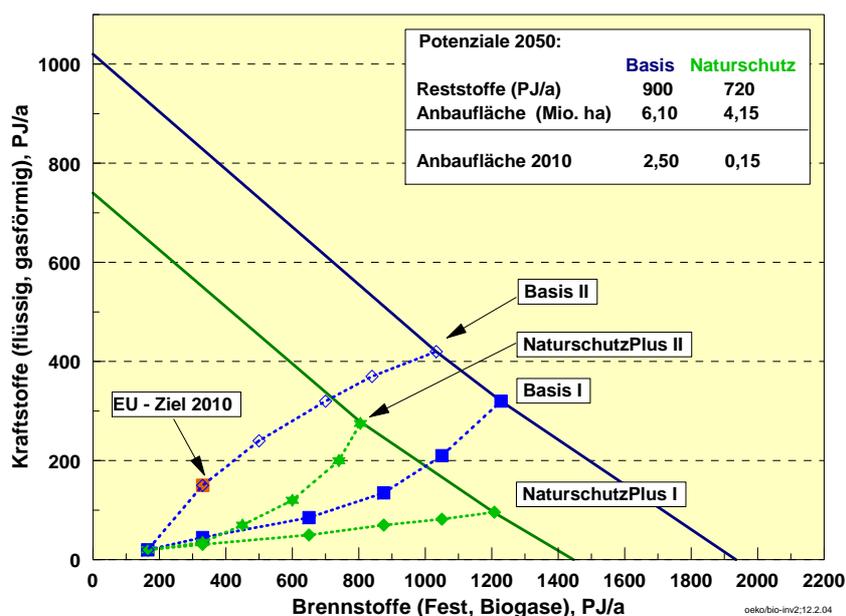


Abbildung 3: Je zwei Pfade einer möglichen Nutzung der ermittelten Biomassepotenziale für die stationäre und mobile Nutzung in den Szenarien BASIS und NaturschutzPlus. Jede Markierung entspricht einem Abstand von 10 Jahren beginnend im Jahr 2000.

Die für die Szenarien NaturschutzPlus vorgegebene Reduktion der Biomassenutzung verlangt eine anderweitige Kompensation, wenn das gewünschte Ziel einer 80%igen Reduktion der Treibhausgase bei der hier berechneten Gesamtnachfrage nach Endenergie erreicht werden soll. Die Nutzung der weiteren noch in großem Ausmaß verfügbaren Potenziale der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zur **Wasserstoffherstellung ist ab etwa 2030** die nächste vernünftig einsetzbare Option. Im Szenario NaturschutzPlus I werden dazu weitere 70 TWh/a Strom eingesetzt um daraus 190 PJ/a Elektrolysewasserstoff als Kraftstoff bereitzustellen. Im Szenario NaturschutzPlus II dienen 150 PJ/a Wasserstoff zur Versorgung dezentraler KWK-Anlagen, wo er mit einem Nutzungsgrad von 90% und einer Stromkennzahl von 1,25 in Strom und Nutzwärme umgewandelt wird.

4. Zweckmäßigste Nutzung der Biomasse – Abwägung zwischen stationärer und mobiler Nutzung.

Biomasse kann zukünftig wichtige Beiträge zur Energieversorgung leisten. Kommen die hier abgeleiteten Empfehlungen des Naturschutzes zur Leitlinie einer umweltverträglichen Nutzung der Biomasse zur Anwendung, so kommt vorerst nur die Nutzung der Reststoffe in Frage, da erst ab etwa 2020 größere Flächen für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung stehen werden. Dies hat Einfluss auf den Zeitpfad der Biomassenutzung und die zweckmäßigste Zuordnung zu Nutzungsbereichen. Es zeigt sich, dass ein **Einsatz biogener Reststoffe im stationären Bereich zu bevorzugen** ist. Zum einen sind die Ausbeuten an Nutzenergie höher als im Verkehrsbereich, zum zweiten hat der Verkehrssektor noch einen wesentlich höheren „Nachholbedarf“ im Bereich der Umstrukturierung hin zu einer insgesamt „effizienteren“ Mobilität.

Darüber hinaus verursachen Biokraftstoffe auf mittlere Sicht relativ hohe Differenzkosten, da die reinen Bereitstellungskosten heutiger Kraftstoffe mit rund 2,5 cts/kWh gering sind. Diese schlagen sich in entgangenen Einnahmen an Mineralölsteuer nieder. Bei einer forcierten Bereitstellung entsprechend der jetzigen europäischen Zielsetzung entstehen im Jahr 2010 Differenzkosten in Höhe von ca. 2,5 Mrd. €/a, die mittelfristig (2020 /2030) auf rund 3 Mrd. €/a steigen. Hinzu kommt, dass die CO₂-Vermeidungskosten bei den Biokraftstoffen unter den meisten Randbedingungen deutlich über denen der Bioenergieträger für die stationäre Nutzung liegen. Die politisch relativ leicht durchsetzbare Fördermöglichkeit der „Mineralölsteuerbefreiung“ sollte daher nicht dazu verführen, das Wachstum von Biokraftstoffen zu stark zu forcieren. Es wird empfohlen, sich bei der **Einführung von Biokraftstoffen an den aus Naturschutzsicht verfügbaren Anbauflächen in ihrem zeitlichen Ablauf zu orientieren**. Die bei Einhaltung der naturschützerischen Kriterien im Zeitablauf verfügbaren Anbauflächen für Energiepflanzen (0,15 Mio. ha in 2010; 1,1 Mio. ha in 2020 und dann steigend bis auf 4,1 Mio. ha in 2050) ermöglichen es, im Jahr 2020 zwischen 80 und 130 PJ/a Biokraftstoffe bereitgestellt werden, die bis 2050 auf rund 300 PJ/a steigen können. Diese verhaltene Einführung begrenzt die Differenzkosten auf ein Drittel bis die Hälfte obiger Werte.

Unter der Voraussetzung, dass Reststoffe vollständig im stationären Bereich eingesetzt werden, stehen längerfristig 65 – 75% der Anbauflächen für die Kraftstoffbereitstellung zur Verfügung. Bezogen auf das Gesamtpotenzial der Biomasse entspricht dies nach Ausschöpfung der Potenziale einem **Anteil von 20 – 25% für den Verkehrsbereich**. Werden höhere Beiträge an Kraftstoffen angestrebt, insbesondere in der Zeit vor 2020, so geht dies entweder zu Lasten der naturschützerischen Anforderungen oder es wird der Import von Biokraftstoffen erforderlich. Alternativ könnten zu Lasten der stationären Nutzung und mit geringerer Ausbeute an Endenergie biogene Reststoffe zur Kraftstoffherzeugung eingesetzt werden.

Die zukünftige Entwicklung des Verkehrssektors ist aus o. g. Gründen in den Ausbauszenarien zunächst vor allem durch deutliche Effizienzsteigerungen aller Verkehrsmittel und (begrenzte) Verlagerungen des Verkehrsaufkommens von der Straße auf die anderen Verkehrsmittel gekennzeichnet. Dadurch kann der Kraftstoffverbrauch gegenüber der Referenzentwicklung bis 2050 halbiert werden. Mit einem Anteil von 0,9% sind erneuerbare Energien

im Verkehr derzeit am geringsten vertreten. In den Szenarien werden zwei Strategien abgebildet: Das **Szenario BASIS II stellt die Obergrenze** des Ausbaus erneuerbarer Energien im Verkehrssektor dar. Die aus Naturschutzsicht nicht reduzierten Biomassepotenziale auf Anbauflächen werden entsprechend der Zielsetzung bevorzugt im Verkehrssektor eingesetzt, was in Verbindung mit den umgesetzten Effizienzpotenzialen und der hohen Wachstumsdynamik rasch zu hohen Anteilen erneuerbarer Energien führt. Mit 37 % bzw. 420 PJ/a besteht die Kraftstoffbasis im Jahr 2050 zu mehr als einem Drittel aus erneuerbaren Energien. **Die Untergrenze dieser Strategie** stellt das Szenario NaturschutzPlus I dar (Abb. 4).

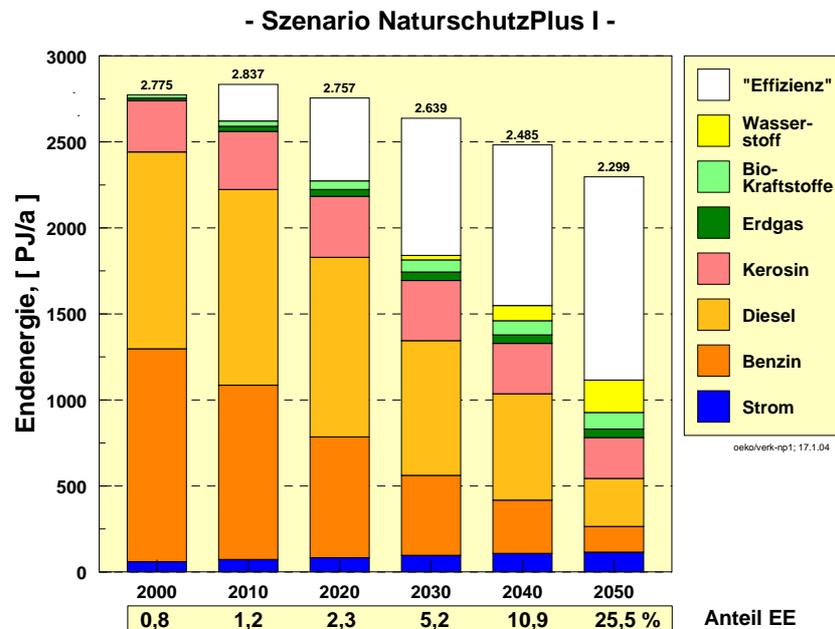


Abbildung 4: Strukturelle Veränderungen in der Kraftstoffbereitstellung im Szenario NaturschutzPlus I mit Angabe der jeweiligen Anteile an erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2050.

Hier werden die reduzierten Biomassepotenziale (Reststoffe und Energiepflanzen) vorrangig im stationären Bereich eingesetzt, was zu relativ geringen Beiträgen von Biokraftstoffen von knapp 9% (100 PJ/a) in 2050 führt. Um längerfristig dennoch einen nennenswerten Beitrag erneuerbarer Energien im Verkehr zu erzielen, wird zusätzlich ab 2030 elektrolytisch erzeugter Wasserstoff bereitgestellt, so dass im Jahr 2050 rund ein Viertel des Kraftstoffbedarfs aus erneuerbaren Quellen stammt. In diesem Szenario des zeitlich späteren Ausbaus erneuerbarer Energien im Verkehrsbereich wird erst ab ca. 2030 ein energiewirtschaftlich relevanter Anteil von über 5% erreicht.

Die Szenarioanalyse macht deutlich: Nur bei beträchtlichen Verbrauchsreduzierungen bzw. erfolgreichen Effizienzbemühungen werden erneuerbare Energien im Verkehrssektor in absehbarer Zeit und mit vertretbarem Aufwand nennenswerte Anteile decken können. Eine Strategie, die bei weitgehend unveränderten Mobilitätsstrukturen und fahrzeugspezifischen Energieaufwendungen versucht, fossile Kraftstoffe abzulösen, wird nicht erfolgreich sein können.

Abb. 5 zeigt zusammengefasst die aus den erläuterten Biomassepotenzialen entsprechend der Strategie NaturschutzPlus bereitgestellten Endenergiemengen. Während die heute dominierende Einzelheizung kaum mehr wächst, zeigt die Nutzung der Biomasse mittels effizienter KWK-Anlagen und Heizwerken mit Nahwärmenetzen die größte Wachstumsdynamik. Wird, wie in Szenario NaturschutzPlus II vorausgesetzt ein größerer Anteil in Form von Biokraftstoffen bereitgestellt, so reduziert sich der Gesamtbeitrag der Biomasse. Mit 18 bis 19% Gesamtbeitrag am Endenergieverbrauch einer effizienten Energieversorgung des Jahres

2050 spielt die Biomasse in jedem Fall eine wichtige Rolle bei der Erschließung erneuerbarer Energien.

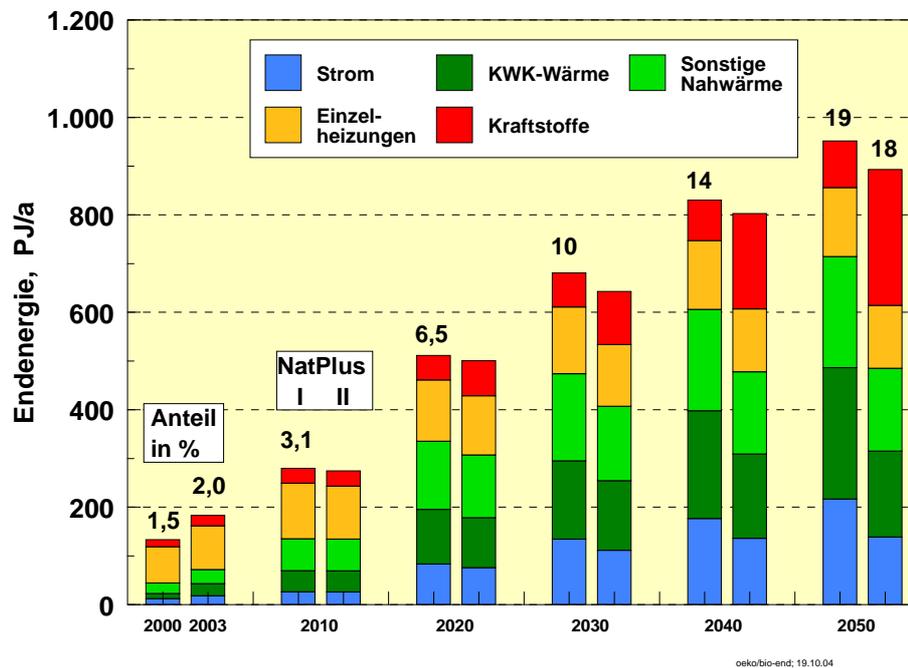


Abb. 5: Aus Biomasse bereitgestellte Endenergiemengen bis 2050 in den Szenarien NaturschutzPlus I und II und ihr Gesamtanteil am jeweiligen Endenergieverbrauch.

Quelle:

BMU 2004: J. Nitsch, W. Krewitt, M. Pehnt, G. Reinhardt, M. Fishedick u.a. „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland.“ Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (FKZ 901 41 803). DLR, ifeu, WI, Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal, März 2004 (Langfassung).