

APRIL 2019

Funded by



STIFTUNG
MERCATOR

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

GLOBAL ENERGY SYSTEM BASED ON 100% RENEWABLE ENERGY

Power, Heat, Transport and Desalination Sectors

Key Findings (German)



Study by



P.O.Box 20
FI-53851 Lappeenranta
Finland
Tel.: +358 408171944
Email: manish.thulasi.ram@lut.fi

Albrechtstr. 22
10117 Berlin
Germany
Tel.: +49 30 609 898 810
Email: office@energywatchgroup.org

100% Erneuerbare Energie weltweit ist kostengünstiger als das derzeitige Energiesystem

Treibhausgasemissionen in den Energiesektoren, Strom, Wärme, Verkehr und Entsalzung sinken auf Null

ZENTRALE ERKENNTNISSE

Eine vollständige weltweite Energiewende in den Bereichen Strom, Wärme, Verkehr und Entsalzung hin zu 100% Erneuerbaren ist vor 2050 möglich. Das vorhandene Potential erneuerbarer Energien ist bei entsprechendem Ausbau bereits vorhandener Erzeugungs- und Speichertechnologien in der Lage, eine sichere Stromversorgung stündlich über das gesamte Jahr hinweg zu gewährleisten. Das so entwickelte, nachhaltige Energiesystem ist zudem effizienter und kostengünstiger als das heutige, überwiegend auf fossilen und nuklearen Energieträgern beruhende System. Zugleich ist eine solche globale Energiewende hin zu erneuerbaren Energien die einzige Option für den Energiesektor, die mit der Einhaltung der Pariser Klimaziele übereinstimmt. Die Energiewende ist damit keine Frage der technischen Machbarkeit oder wirtschaftlichen Rentabilität, sondern ausschließlich eine Frage des politischen Willens.

Die auf aktuellstem wissenschaftlichem Standard durchgeführte Modellierung im Rahmen der Studie „Globales Energiesystem mit 100% Erneuerbaren Energien“ simuliert eine weltweite Umstellung auf 100% erneuerbare Energien für 9 Groß- und 145 Kleinregionen mit stündlicher Auflösung in 5-Jahres Intervallen von 2015 bis 2050. Im Rahmen dessen berechnet das Modell den kostenoptimalen Technologiemitmix auf Grundlage der lokal vorhandenen erneuerbaren Energiequellen.

Auf Basis einer erwarteten Steigerung der Weltbevölkerung von 7,2 Mrd. auf 9,7 Mrd. bis 2050, wird der weltweite Energiebedarf jährlich um geschätzt 1,8% steigen. Dies wird durch massive Einsparungen durch Energieeffizienz vorangetrieben und ermöglicht mehr Energiedienstleistungen für höhere Lebensstandards.

Elektrifizierung und Dezentralisierung führen zu mehr Effizienz

Eine sektorenübergreifende Elektrifizierung (s. Abbildung KF-1) ist nicht nur unausweichlich, sie ist auch wesentlich ressourcenschonender als das heutige Energiesystem. Überwiegend durch den höheren Grad an Elektrifizierung in den Sektoren Wärme und Verkehr wird die Stromerzeugung im Jahr 2050 vier- bis fünffach so hoch sein wie 2015. Die ausschließliche Verwendung von strombasierten- und biogenen Kraftstoffen bei vollständigem Verzicht auf fossile Energieträger ermöglicht die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs um ca. zwei Drittel (68%) verglichen mit 2015. Im Jahr 2050 wird Strom allein 90% des weltweiten Primärenergiebedarfs decken. Diese Elektrifizierung resultiert in einem massiven Effizienzgewinn gegenüber einer Entwicklung mit niedriger Elektrifizierung (s. KF-1). Gleichzeitig ermöglichen die erneuerbaren Energien eine nahezu vollständige Versorgung durch lokale oder regionale Quellen.

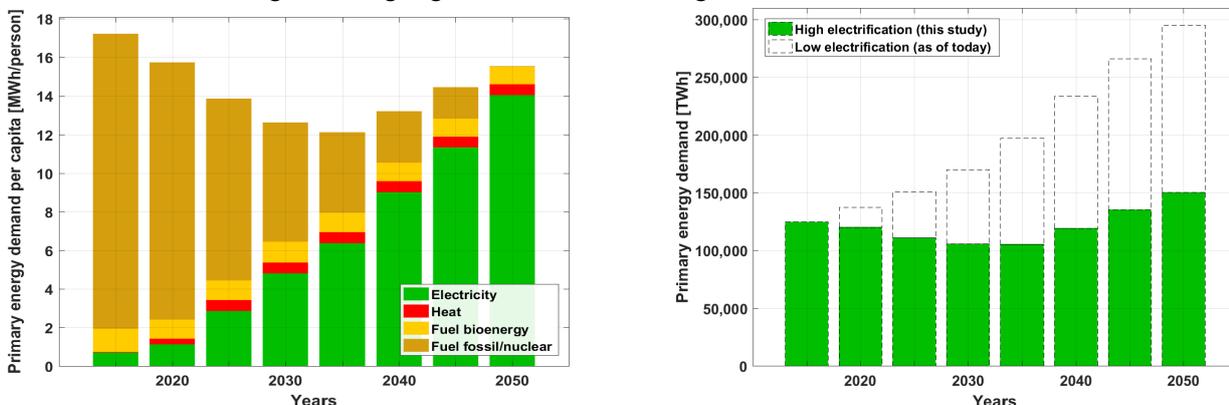


Abbildung KF-1: Primärenergiebedarf pro Kopf (links) und Primärenergiebedarf mit hoher Elektrifizierung und niedriger Elektrifizierung (rechts) während der Energiewende.

Solar PV und Windenergie dominieren die Energiewende

In dem zu 100% auf erneuerbaren Energien beruhendem System wird die Primärenergieversorgung durch eine Mischung verschiedener erneuerbarer Energiequellen gedeckt. Solarenergie hat 2050 mit 69% den größten Anteil, gefolgt von Windenergie mit 18% und komplettiert durch Biomasse und Abfall (6%), Wasserkraft (3%) sowie Geothermie (2%) (s. Abbildung KF-2). Die Kombination aus Wind- und Solarenergie stellt nicht nur 88% der gesamten Energieversorgung und 96% der gesamten Stromversorgung, sondern hat auch eine synergetische, ausgleichende Wirkung auf das Energiesystem.

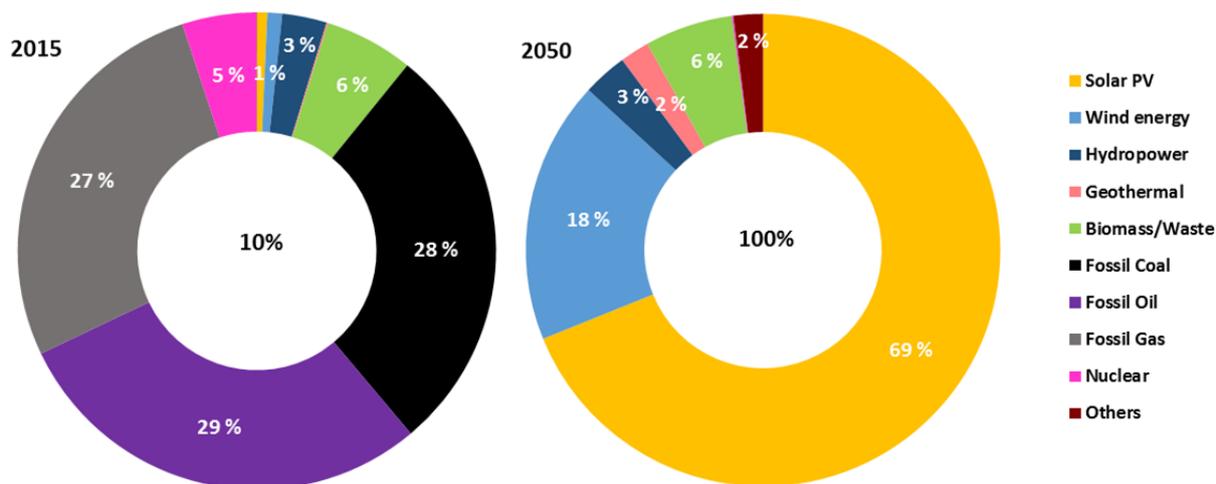


Abbildung KF-2: Anteil der Primärenergieversorgung in den Jahren 2015 und 2050.

100% Erneuerbare Energien sind günstiger als das derzeitige Energiesystem

- Die langfristigen Energiekosten (LCOE) für ein weltweit vollständig nachhaltiges Energiesystem werden gegenüber 54€/MWh in 2015 mit 53€/MWh in 2050 sogar etwas geringer sein als für das derzeitige Energiesystem (Abbildung KF-3). Unter Berücksichtigung der durch zahlreiche Studien belegten erheblichen negativen Externalitäten des herkömmlichen Energiesystems, ist das 100% erneuerbare Energiesystem die wesentlich günstigere Option.
- Ein 100% erneuerbares Energiesystem bringt eine Win-Win-Situation für die gesamte Menschheit, mit mannigfaltigen ökonomischen und ökologischen Vorteilen.
- Auf dem Weg zu Null Emissionen bis 2050 können einige Großregionen deutlich an Energiekosten einsparen, darunter die MENA-Region (-31%), Nordamerika (-22%), Südamerika (-34%) und Europa (-15%). Besonders im Stromsektor sinken die Kosten im globalen Schnitt erheblich von 78€/MWh auf 53€/MWh (2015) bis 2050, während die langfristigen Wärmekosten von 39€/MWh (2015) auf 49€/MWh bis 2050 steigen.
- Die Studienergebnisse zeigen, dass ein Umstieg auf 100% erneuerbare Energien die internationalen Energieabhängigkeiten beseitigt und damit auch die Lösung von energiebedingten Konflikten erheblich erleichtert.
- Die Energiekosten werden zunehmend durch die Kapitalkosten dominiert und die Brennstoffkosten verlieren an Bedeutung.
- Die Investitionen im Energiesektor nehmen durch die Umstellung zu und sind auf eine Vielzahl von Technologien verteilt. Große Investitionen werden in den Bereichen Solar- und Windenergie, Batterien, Wärmepumpen und der Umwandlung synthetischer Brennstoffe getätigt (Abbildung KF-3).

Die jährlichen Energiekosten im Verkehrssektor sinken mit der Energiewende bis 2050 von rund 2,09 Billionen Euro im Jahr 2015 auf 1,9 Billionen Euro. Die Personentransportkosten für den Straßenverkehr sinken, während sie für See- und Luftverkehr geringfügig ansteigen. Frachtkosten sinken im Straßenverkehr, bleiben für Schiene und Schifffahrt stabil und steigen für die Luftfahrt leicht an.

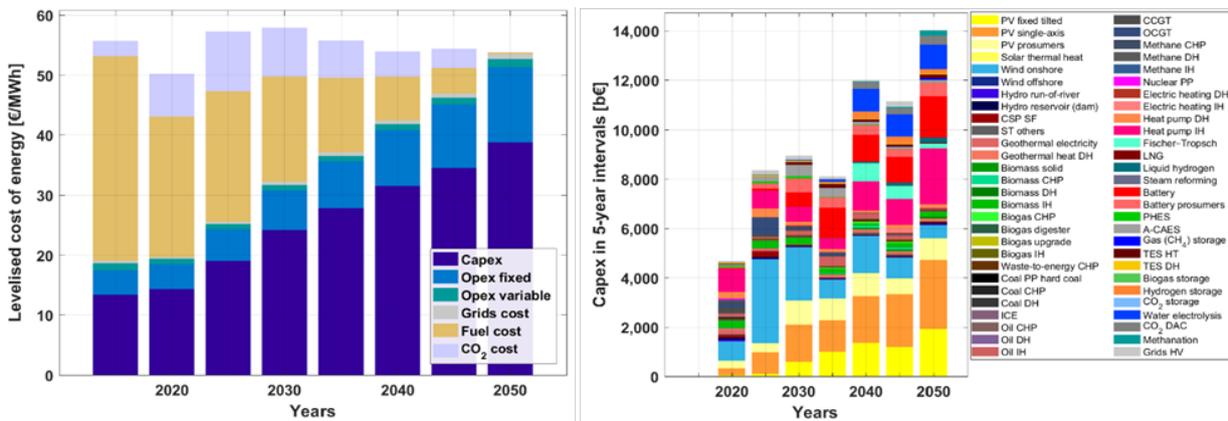


Abbildung KF-3: Langfristige Stückkosten für Energie (links) und Investitionen in fünfjährigen Abständen (rechts) während der Energiewende von 2015 bis 2050.

Die weltweiten energiebedingten Treibhausgasemissionen können bis 2050 oder früher in allen Energiesektoren auf Null reduziert werden

- Die jährlichen globalen Treibhausgasemissionen im Energiesektor sinken von rund 30 GtCO₂eq im Jahr 2015 auf Null bis 2050 (Abbildung KF-4). Die verbleibenden kumulierten Treibhausgasemissionen betragen von 2018 bis 2050 ungefähr 422 Gt-CO₂-Äquivalente. Energiebedingte Treibhausgasemissionen machten 2015 mehr als 60% der gesamten globalen Treibhausgasemissionen aus.
- Im Gegensatz zu weit verbreiteten Behauptungen ist eine tiefgreifende Dekarbonisierung des Strom- und Wärmebereichs bis 2030 möglich. Der Verkehrssektor wird diesbezüglich hinterherhinken, aber von 2030 bis 2050 werden auch hier die Treibhausgasemissionen massiv abnehmen (Abbildung KF-4).

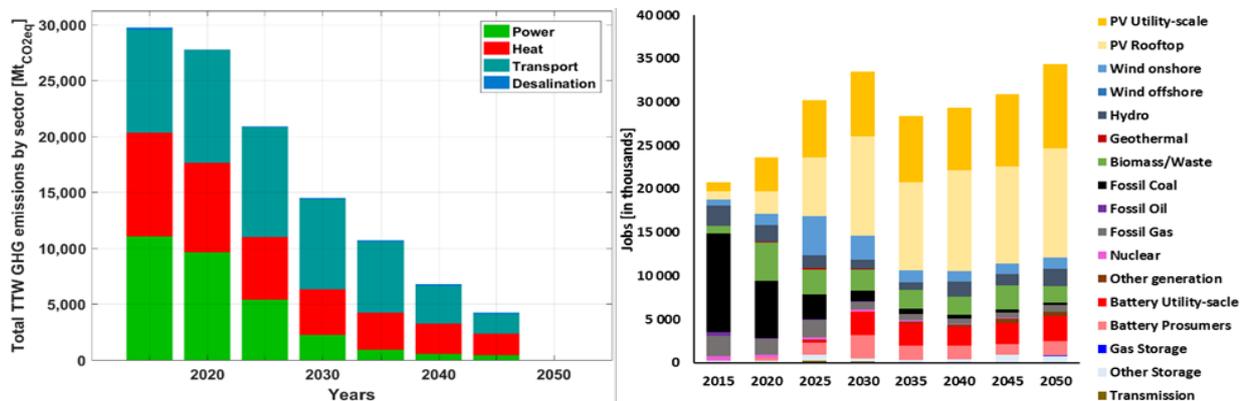


Abbildung KF-4: Treibhausgasemissionen (links) und Arbeitsplätze im Energiesektor (rechts) während der Energiewende von 2015 bis 2050 weltweit.

Ein 100% erneuerbares Energiesystem wird Millionen von Jobs im Stromsektor schaffen

- 2015 beschäftigte der globale Stromsektor rund 20 Millionen Menschen, davon mehr als 70% im Sektor fossile Brennstoffe (Abbildung KF-4).
- Bis 2050 wird das 100% erneuerbare Energiesystem mit 100% Erneuerbaren 35 Millionen Menschen beschäftigen. Hierzu trägt mit mehr als 22 Millionen Beschäftigten überwiegend die Solarwirtschaft bei, gefolgt von der Batterie-, Biomasse-, Wasserkraft- und Windindustrie.
- Die ca. 9 Millionen Jobs im weltweiten Steinkohlenbergbau werden von 2015 bis 2050 auf nahezu Null abgebaut und durch mehr als 15 Millionen Jobs im Bereich der erneuerbaren Energien deutlich überkompensiert.

Die weltweiten Kapazitäten zur Erzeugung und Speicherung erneuerbarer Energien führen zu Effizienzsteigerungen und einer unabhängigen Energieversorgung

- Etwa 96% der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern wird bis 2050 aus Sonnen- und Windenergie stammen. Dadurch wird die Energieerzeugung in hohem Grad lokal und wesentlich effizienter.
- Die Energiespeicherung wird fast 23% des Strombedarfs und etwa 26% des Wärmebedarfs decken. Batterien und thermische Energiespeicherung werden bis zum Jahr 2050 zu den dominanten Strom- bzw. Wärmespeichertechnologien.

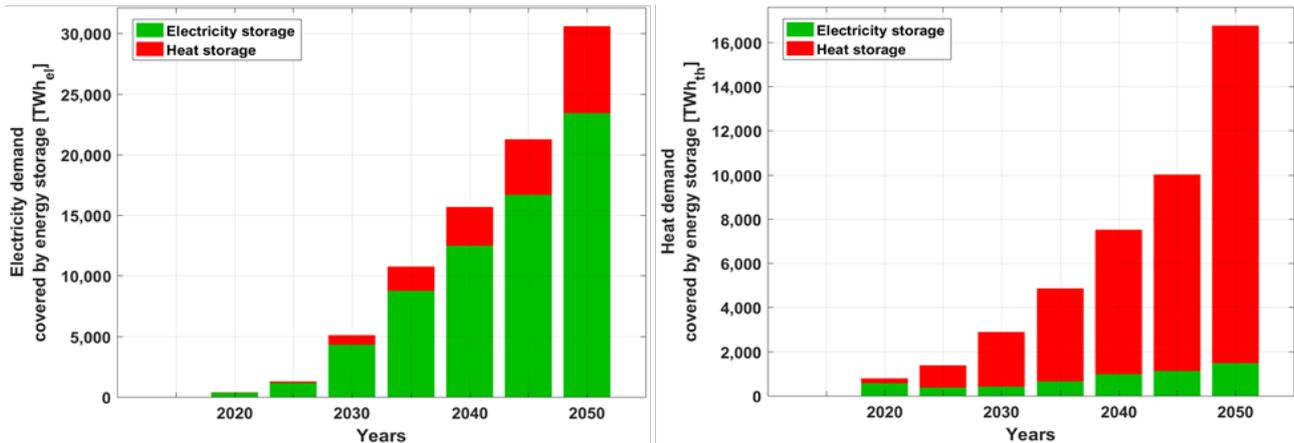


Abbildung KF-5: Strombedarf gedeckt durch Energiespeicherung (links) und Wärmebedarf gedeckt durch Energiespeicherung (rechts) während der Energiewende von 2015 bis 2050 weltweit.

Nachhaltige Biokraftstoffe und natürliche Kohlenstoffsenken werden Emissionen ausgleichen

- Die in dieser Studie berechneten Anteile an Biokraftstoffen werden ausschließlich nachhaltig auf degradierten Böden produziert. Weltweit stehen dafür rund 6,7 Millionen km² degradierte, trockene Böden zur Verfügung, auf denen bis 2050 263 Millionen Tonnen nachhaltiges Jatropa-Pflanzenöl geerntet werden könnten, was in etwa dem heutigen Bedarf an Flugkerosin entspricht. Das Emissionsausgleichspotenzial reicht von 1 bis 15 tCO₂ / ha. Auf Jatropa-Basis könnten so jährlich natürliche Kohlenstoffsenken von bis zu 10 Gigatonnen auf degradiertem Land entstehen.

Entsalzung

- Bis 2050 wird der Bereich Entsalzung verglichen mit 2015 fast um das 40-fache wachsen. Dies erfordert beträchtliche Entsalzungskapazitäten und mehr Wasserspeicherung. Die Entsalzung wird 2050 etwa 4% des gesamten Primärenergiebedarfs ausmachen und wird vollständig mit erneuerbaren Energien gedeckt werden.
- Die Großregionen Eurasien, der Nahe Osten und Nordafrika (MENA), SAARC mit Indien, Nordostasien und Nordamerika werden in 2050 91% der für Entsalzung weltweit erforderlichen Energie einsetzen. Europa, Südostasien, Afrika südlich der Sahara und Südamerika werden hingegen nur einen Anteil von 9% einsetzen.

Regionale Unterschiede in der Energieversorgung

- Die Energiewende weist einige wesentliche regionale Unterschiede auf, beispielsweise bei der Erzeugung von erneuerbarer Energie (Abbildung KF-6). So wird in allen Ländern des Sonnengürtels Solarstrom als Hauptstromquelle genutzt.
- Südasien (SAARC)¹ erreicht 2050 aufgrund des besonders kostengünstigen Stromerzeugungspotentials mit 95% den weltweit größten Anteil an Solarenergie.
- In Eurasien dominiert Onshore-Wind die Stromerzeugung und hat hier den weltweit höchsten Anteil. Der Anteil von Onshore-Wind-Anlagen schwankt zwischen 61% im Jahr 2025 und 47% im Jahr 2050, wohingegen die Erzeugung von Solarenergie bis 2050 nur allmählich zunimmt.
- Nur wenige Regionen verfügen über einen diversifizierten Mix aus erneuerbaren Energien, bestehend aus Solarenergie, Windenergie und Wasserkraft. Dies ist z.B. in den nordischen Ländern, dem westlichen Eurasien, Zentralchina, Chile und Neuseeland der Fall.
- Bis zum Jahr 2025 wird in Nordamerika allein etwa 25% der weltweit erzeugten Windenergie verfügbar sein. Bis 2050 können die Kosten für die Stromversorgung in Nordamerika um mehr als ein Drittel gesenkt werden. Der Übergang zu 100% erneuerbaren Energien wird dort bis 2050 von einem Anstieg der Beschäftigung von rund 1,8 Millionen auf rund 2,7 Millionen begleitet.
- Die verschiedenen Energiesysteme richten sich jeweils nach den lokal verfügbaren erneuerbaren Ressourcen. Dies führt weltweit zu erhöhter Energiesicherheit. Dies wiederum könnte als Grundstein für mehr Frieden und Wohlstand auf der ganzen Welt dienen.

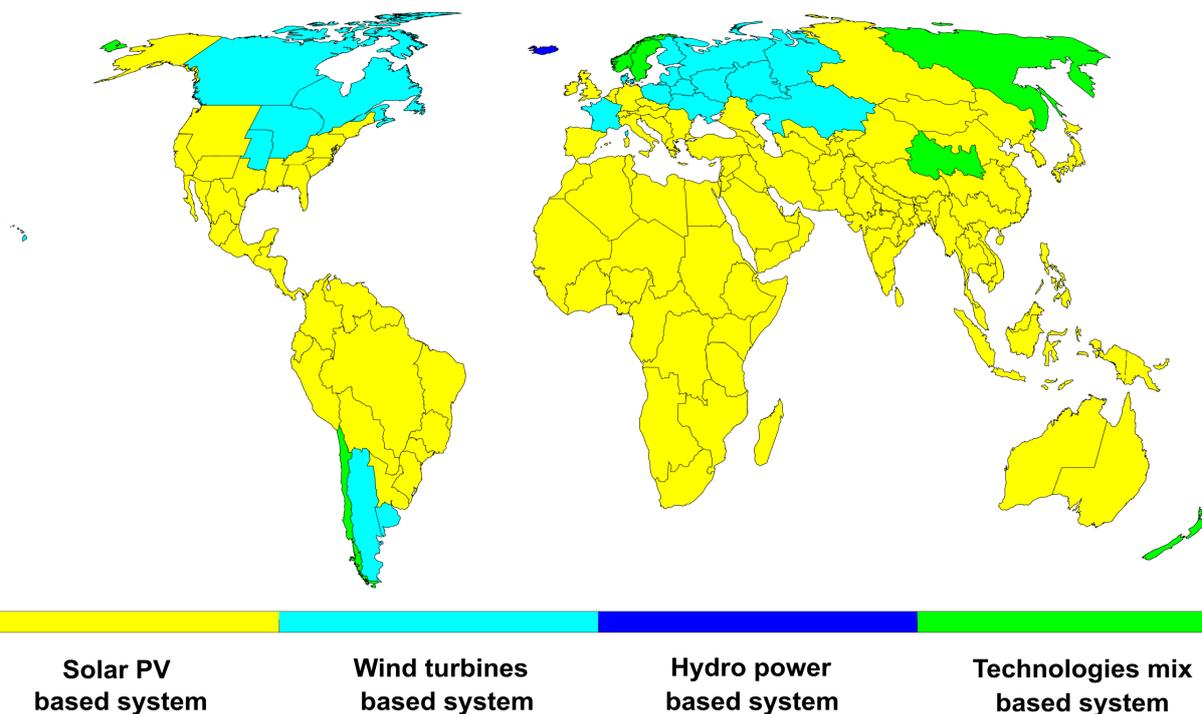


Abbildung KF-6: Haupttypen von 100% erneuerbaren Stromsystemen.

¹ Mitgliedsstaaten der Südasiatischen Vereinigung für regionale Kooperation (Südasiatische Wirtschaftsgemeinschaft).

Politikempfehlungen

Um einen reibungslosen, schnellen und kostengünstigen Übergang zu 100% erneuerbaren Energien in allen Sektoren zu gewährleisten, müssen die Regierungen weltweit Gesetze auf nationaler Ebene erlassen, die eine rasche Einführung und Weiterentwicklung von erneuerbaren Energien, Speichertechnologien, Sektorenkopplung und intelligenten Energiesystemen sicherstellen. Die politisch vorgegebenen Rahmenbedingungen müssen günstige Investitionsbedingungen für alle betroffenen Akteure, einschließlich Unternehmen und Genossenschaften, schaffen. Um die Energiewende voranzubringen und zu beschleunigen, sind die folgenden politischen Unterstützungsmaßnahmen von übergeordneter Bedeutung:

- Politiken und Instrumente, die auf Sektorkopplung ausgerichtet sind und direkte private Investitionen in erneuerbare Energien und andere emissionsfreie Technologien lenken und erleichtern.
- Um Investitionen von dezentralen Akteuren wie kleinen und mittleren Unternehmen, Genossenschaften, Gemeinden, Landwirten und Bürgern zu ermöglichen, sollten Einspeisetarifgesetze mit fixen Tarifen verabschiedet werden. Diese fixen Einspeisetarife sollten etwa bis 40 MW Einzelinvestition angeboten werden. Ausschreibungsverfahren sind nur für Großinvestoren sinnvoll und können für Investitionen über 40 MW genutzt werden.
- Eine sozial verträgliche Abschaffung aller staatlichen Subventionen für fossile und nukleare Energie ist notwendig.
- Die Einführung von Kohlenstoff-, Methan- und Radioaktivitätssteuern muss zur Internalisierung der externen Schadenskosten von fossilen und atomaren Energien zur Beseitigung der Benachteiligung von Technologien der erneuerbaren Energien und Speicher eingeführt werden.
- Durch Steuerbefreiungen, direkte Subventionen und gesetzliche Privilegien sollten Anreize geschaffen werden, die das Wachstum erneuerbarer Energietechnologien beschleunigen.
- Politiken und Rahmenbedingungen zur nationalen und internationalen Förderung von Forschung, Bildung und Informationsaustausch über erneuerbare Energien und Nullemissionstechnologien sind zu verbessern und auszubauen.
- Die Beseitigung von Genehmigungshindernissen für erneuerbare Energien ist erforderlich.