

Supplementary Information

Projections of When Each of 150 Countries May Eliminate Air Pollution and Carbon Emissions From All Energy

Mark Z. Jacobson

This Supplementary Information file (pages S1-S16) contains three additional tables (Tables S1-S3) and one additional figure (Figure S1).

Supplementary Tables

Table S1. Columns (a)-(l): nameplate capacities of wind-water-solar (WWS) generators installed in each of 150 countries by the end of 2023, 2024, and (for China, India, and the U.S.) 2025, as well as WWS nameplate capacities needed in 2050 upon near-electrification of all energy sectors while keeping the grid stable with only WWS. Column (m): estimated output from all WWS nameplate capacities in 2023, 2024, 2025, and 2050. Column (n): estimated percentages of WWS output needed in 2050 that were already met at the end of 2024 or 2025. Column (o): year by which each country can reach 100% WWS if either the 2023-to-2024 (for 2024 numbers) or 2024-to-2025 (for 2025 numbers) growth rate of WWS output persists.

Country	Year	(a) On-shore wind (GW)	(b) Off- shore wind (GW)	(c) Roof PV (GW)	(d) Utility PV (GW)	(e) CSP (GW)	(f) Geo- elec (GW)	(g) Hydr o (GW)	(h) Wave (GW)	(i) Tidal (GW)	(j) Geo- heat (GW)	(k) Solar heat (GW)	(l) Total WWS name- plate (GW)	(m) Total WWS output (GW)	(n) Pct of 2050 met (%)	(o) Year to 100% WWS
Albania	2023	0.000	0.000	0.087	0.120	0.000	0.000	2.519	0.000	0.000	0.016	0.206	2.948	1.050	49.5	
	2024	0.000	0.000	0.129	0.178	0.000	0.000	2.519	0.000	0.000	0.016	0.206	3.048	1.067	50.3	2088
	2050	1.357	0.223	1.413	1.296	0.000	0.000	2.493	0.000	0.002	0.016	0.206	7.008	2.122		
Algeria	2023	0.010	0.000	0.183	0.254	0.025	0.000	0.129	0.000	0.000	0.078	0.000	0.679	0.183	0.3	
	2024	0.010	0.000	0.183	0.254	0.025	0.000	0.129	0.000	0.000	0.078	0.000	0.679	0.183	0.3	2350+
	2050	54.123	5.260	75.088	59.569	0.000	0.001	0.129	0.185	0.020	0.078	0.000	194.453	57.925		
Angola	2023	0.000	0.000	0.152	0.210	0.000	0.000	3.729	0.000	0.000	0.000	0.000	4.091	1.290	9.4	
	2024	0.000	0.000	0.152	0.210	0.000	0.000	3.729	0.000	0.000	0.000	0.000	4.091	1.290	9.4	2350+
	2050	18.023	3.874	13.644	10.093	0.000	0.000	3.729	0.015	0.016	0.000	0.000	49.394	13.687		
Argentina	2023	3.706	0.000	0.589	0.816	0.000	0.000	10.39	0.000	0.000	0.205	0.199	15.905	5.459	13.4	
	2024	4.320	0.000	0.729	1.012	0.000	0.000	9.195	0.000	0.000	0.205	0.199	15.660	5.128	12.6	2350+
	2050	52.217	7.229	68.753	45.948	0.005	1.010	10.39	0.000	0.057	0.205	0.199	186.013	40.810		
Armenia	2023	0.003	0.000	0.168	0.234	0.000	0.000	1.358	0.000	0.000	0.002	0.000	1.765	0.654	30.7	
	2024	0.003	0.000	0.203	0.282	0.000	0.000	1.351	0.000	0.000	0.002	0.000	1.841	0.668	31.4	2128
	2050	1.939	0.000	1.528	1.861	0.000	0.025	1.358	0.000	0.000	0.002	0.000	6.712	2.127		
Australia	2023	12.908	0.000	13.944	19.335	0.003	0.000	8.440	0.000	0.000	0.094	6.776	61.500	15.892	15.5	
	2024	15.288	0.000	16.119	22.350	0.003	0.000	8.792	0.000	0.000	0.094	6.776	69.422	17.967	17.5	2065
	2050	112.492	12.493	106.040	145.560	0.000	0.400	8.440	0.131	0.176	0.094	6.776	392.603	102.731		
Azerbaijan	2023	0.067	0.000	0.118	0.164	0.000	0.000	1.302	0.000	0.000	0.000	0.000	1.651	0.633	7.3	
	2024	0.064	0.000	0.123	0.170	0.000	0.000	1.407	0.000	0.000	0.000	0.000	1.764	0.678	7.8	2203
	2050	8.171	0.000	10.288	12.251	0.000	0.000	1.302	0.000	0.000	0.000	0.000	32.013	8.724		
Bahrain	2023	0.003	0.000	0.024	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060	0.013	0.1	
	2024	0.003	0.000	0.028	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.069	0.015	0.2	2350+
	2050	0.187	2.904	1.610	36.884	0.007	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	41.598	9.241		
Bangladesh	2023	0.003	0.000	0.313	0.433	0.000	0.000	0.230	0.000	0.000	0.000	0.000	0.979	0.243	0.5	
	2024	0.003	0.000	0.354	0.492	0.000	0.000	0.230	0.000	0.000	0.000	0.000	1.079	0.263	0.6	2350+
	2050	7.133	7.846	39.745	158.915	0.000	0.000	0.230	0.156	0.089	0.000	0.000	214.113	45.505		
Belarus	2023	0.122	0.000	0.114	0.159	0.000	0.000	0.097	0.000	0.000	0.010	0.000	0.502	0.138	1.0	
	2024	0.122	0.000	0.111	0.154	0.000	0.000	0.086	0.000	0.000	0.010	0.000	0.483	0.132	1.0	2350+
	2050	15.031	0.000	13.547	32.887	0.000	0.010	0.097	0.000	0.000	0.010	0.000	61.582	13.923		
Belgium	2023	3.192	2.262	3.499	4.853	0.000	0.000	0.124	0.000	0.000	0.306	0.515	14.751	4.106	12.5	
	2024	3.337	2.262	4.086	5.666	0.000	0.000	0.128	0.000	0.000	0.306	0.515	16.300	4.397	13.3	2122
	2050	14.589	12.970	4.928	105.533	0.000	2.511	0.123	0.000	0.003	0.306	0.515	141.478	32.959		
Benin	2023	0.000	0.000	0.015	0.020	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.006	0.2	
	2024	0.000	0.000	0.015	0.020	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.006	0.2	2350+
	2050	11.242	0.663	5.667	3.975	0.005	0.000	0.001	0.012	0.005	0.000	0.000	21.570	3.666		
Bolivia	2023	0.135	0.000	0.072	0.101	0.000	0.000	0.736	0.000	0.000	0.001	0.000	1.045	0.373	7.0	
	2024	0.135	0.000	0.074	0.103	0.000	0.000	0.717	0.000	0.000	0.001	0.000	1.030	0.366	6.9	2350+
	2050	10.714	0.000	4.694	10.019	0.001	1.260	0.736	0.000	0.000	0.001	0.000	27.426	5.319		
Bosnia Herz.	2023	0.135	0.000	0.089	0.123	0.000	0.000	1.842	0.000	0.000	0.036	0.000	2.225	0.832	22.6	
	2024	0.219	0.000	0.089	0.123	0.000	0.000	1.868	0.000	0.000	0.036	0.000	2.335	0.877	23.8	2087
	2050	3.319	0.451	3.999	4.212	0.000	0.000	1.838	0.000	0.002	0.036	0.000	13.856	3.682		
Botswana	2023	0.000	0.000	0.004	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.022	0.003	0.2	
	2024	0.000	0.000	0.004	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.022	0.003	0.2	2350+
	2050	2.361	0.000	2.886	3.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	8.304	1.987		
Brazil	2023	29.113	0.000	15.897	22.043	0.000	0.000	109.92	0.000	0.000	0.363	13.108	190.442	61.037	18.1	
	2024	32.959	0.000	22.254	30.859	0.000	0.000	109.98	0.000	0.000	0.363	13.108	209.521	64.842	19.2	2096
	2050	762.360	47.414	390.689	278.535	0.033	0.000	109.90	0.844	0.200	0.363	13.108	1,603.45	337.024		

Country	Year	(a) On-shore wind (GW)	(b) Off- shore wind (GW)	(c) Roof PV (GW)	(d) Utility PV (GW)	(e) CSP (GW)	(f) Geo- elec (GW)	(g) Hydr o (GW)	(h) Wave (GW)	(i) Tidal (GW)	(j) Geo- heat (GW)	(k) Solar heat (GW)	(l) Total WWS- name- plate (GW)	(m) Total WWS output (GW)	(n) Pct of 2050 met (%)	(o) Year to 100% WWS
Brunei Dar.	2023	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.0	
	2024	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.001	0.0	2350+
	2050	0.050	1.603	4.239	6.229	0.000	0.000	0.000	0.006	0.003	0.000	0.000	12.130	2.283		
Bulgaria	2023	0.704	0.000	1.218	1.690	0.000	0.000	2.486	0.000	0.000	0.109	0.125	6.332	1.810	13.1	
	2024	0.704	0.000	1.637	2.271	0.000	0.000	2.486	0.000	0.000	0.109	0.125	7.332	1.975	14.3	2096
	2050	9.964	1.584	10.950	10.266	0.000	8.219	2.526	0.000	0.010	0.109	0.125	43.754	13.851		
Cambodia	2023	0.000	0.000	0.204	0.283	0.000	0.000	1.332	0.000	0.000	0.000	0.000	1.819	0.623	6.4	
	2024	0.000	0.000	0.368	0.510	0.000	0.000	1.337	0.000	0.000	0.000	0.000	2.215	0.698	7.1	2145
	2050	1.570	6.292	18.983	21.962	0.000	0.000	1.791	0.000	0.012	0.000	0.000	50.609	9.779		
Cameroon	2023	0.000	0.000	0.026	0.037	0.000	0.000	0.814	0.000	0.000	0.000	0.000	0.877	0.260	2.8	
	2024	0.000	0.000	0.026	0.037	0.000	0.000	0.814	0.000	0.000	0.000	0.000	0.877	0.260	2.8	2350+
	2050	34.861	0.481	9.656	8.545	0.000	0.000	0.814	0.018	0.010	0.000	0.000	54.384	9.335		
Canada	2023	16.989	0.000	2.465	3.419	0.000	0.006	83.281	0.000	0.001	1.831	0.938	108.930	34.109	15.3	
	2024	18.376	0.000	2.558	3.547	0.000	0.006	83.281	0.000	0.001	1.831	0.938	110.538	34.768	15.6	2310
	2050	342.491	35.508	60.268	69.028	0.000	5.000	83.307	0.222	0.281	1.831	0.938	598.875	223.152		
Chile	2023	4.623	0.000	3.678	5.099	0.108	0.083	7.365	0.000	0.000	0.023	0.284	21.263	5.912	22.1	
	2024	4.807	0.000	4.584	6.356	0.114	0.095	7.419	0.000	0.000	0.023	0.284	23.682	6.424	24.0	2064
	2050	32.791	4.984	44.672	26.315	0.003	1.630	7.471	0.045	0.066	0.023	0.284	118.284	26.768		
China	2023	404.61	37.29	255.32	354.03	0.57	0.03	370.60	0.00	0.01	40.61	364.00	1,827.06	523.70	16.2	
	2024	482.65	39.10	371.80	515.56	0.57	0.03	385.00	0.00	0.01	40.61	364.00	2,199.32	616.38	19.0	2052
	2025	545.21	60.55	498.95	691.86	0.57	0.03	394.36	0.00	0.01	40.61	364.00	2,596.13	713.31	22.0	2051
	2050	2,751.57	832.68	2,347.81	5,613.84	1.76	1.86	370.60	8.37	2.00	40.61	364.00	12,335.1	3,239.20		
Columbia	2023	0.034	0.000	0.300	0.416	0.000	0.000	13.224	0.000	0.000	0.020	0.000	13.994	5.922	21.3	
	2024	0.034	0.000	0.583	0.809	0.000	0.000	13.224	0.000	0.000	0.020	0.000	14.670	6.060	21.8	2181
	2050	67.137	3.165	24.381	33.180	0.000	1.500	13.211	0.072	0.043	0.020	0.000	142.709	27.745		
Congo	2023	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.214	0.000	0.000	0.000	0.000	0.215	0.066	2.1	
	2024	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.214	0.000	0.000	0.000	0.000	0.215	0.066	2.1	2350+
	2050	12.115	0.695	3.163	2.219	0.000	0.000	0.214	0.006	0.004	0.000	0.000	18.415	3.177		
Congo DR	2023	0.000	0.000	0.010	0.015	0.000	0.000	3.188	0.000	0.000	0.000	0.000	3.213	0.983	4.2	
	2024	0.000	0.000	0.010	0.015	0.000	0.000	3.188	0.000	0.000	0.000	0.000	3.213	0.983	4.2	2350+
	2050	86.300	0.692	21.664	23.471	0.000	0.000	3.172	0.044	0.002	0.000	0.000	135.345	23.361		
Costa Rica	2023	0.408	0.000	0.031	0.042	0.000	0.263	2.372	0.000	0.000	0.002	0.000	3.118	1.091	23.1	
	2024	0.402	0.000	0.031	0.042	0.000	0.263	2.353	0.000	0.000	0.002	0.000	3.093	1.083	22.9	2350+
	2050	3.334	0.723	2.242	3.138	0.000	3.500	2.372	0.008	0.004	0.002	0.000	15.323	4.720		
Ivory Coast	2023	0.000	0.000	0.017	0.023	0.000	0.000	0.879	0.000	0.000	0.000	0.000	0.919	0.277	2.4	
	2024	0.000	0.000	0.017	0.023	0.000	0.000	0.879	0.000	0.000	0.000	0.000	0.919	0.277	2.4	2350+
	2050	37.489	1.908	15.754	10.577	0.000	0.000	0.879	0.027	0.013	0.000	0.000	66.646	11.456		
Croatia	2023	1.160	0.000	0.194	0.269	0.000	0.010	2.190	0.000	0.000	0.079	0.189	4.091	1.474	16.8	
	2024	1.191	0.000	0.360	0.500	0.000	0.010	2.190	0.000	0.000	0.079	0.189	4.519	1.552	17.7	2116
	2050	5.144	0.000	7.413	8.881	0.000	5.708	2.206	0.000	0.010	0.079	0.189	29.630	8.774		
Cuba	2023	0.016	0.000	0.117	0.163	0.000	0.000	0.069	0.000	0.000	0.000	0.000	0.365	0.092	1.2	
	2024	0.016	0.000	0.122	0.170	0.000	0.000	0.069	0.000	0.000	0.000	0.000	0.377	0.095	1.2	2350+
	2050	7.111	1.611	11.711	12.583	0.000	0.000	0.072	0.008	0.013	0.000	0.000	33.108	7.895		
Curacao	2023	0.047	0.000	0.005	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060	0.008	0.5	
	2024	0.070	0.000	0.006	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.084	0.011	0.7	2350+
	2050	0.172	0.673	0.243	5.959	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	7.049	1.572		
Cyprus	2023	0.158	0.000	0.243	0.338	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.584	1.333	0.215	13.2	
	2024	0.158	0.000	0.303	0.421	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.584	1.476	0.239	14.6	2083
	2050	0.711	0.712	2.706	2.897	0.000	0.000	0.000	0.006	0.004	0.010	0.584	7.630	1.638		
Czech Rep.	2023	0.343	0.000	1.362	1.889	0.000	0.000	1.117	0.000	0.000	0.325	0.792	5.828	1.345	6.2	
	2024	0.356	0.000	1.743	2.416	0.000	0.000	1.117	0.000	0.000	0.325	0.792	6.749	1.500	6.9	2154
	2050	20.769	0.000	15.854	47.519	0.000	3.539	1.116	0.000	0.000	0.325	0.792	89.913	21.636		
Denmark	2023	4.808	2.469	1.479	2.050	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.744	1.332	12.889	4.323	32.7	
	2024	4.808	2.813	1.653	2.292	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.744	1.332	13.649	4.571	34.6	2059
	2050	10.462	3.019	5.540	24.866	0.000	3.311	0.007	0.033	0.019	0.744	1.332	49.332	13.218		

Country	Year	(a) On-shore wind (GW)	(b) Off- shore wind (GW)	(c) Roof PV (GW)	(d) Utility PV (GW)	(e) CSP (GW)	(f) Geo- elec (GW)	(g) Hydr o (GW)	(h) Wave (GW)	(i) Tidal (GW)	(j) Geo- heat (GW)	(k) Solar heat (GW)	(l) Total WWS- name- plate (GW)	(m) Total WWS output (GW)	(n) Pct of 2050 met (%)	(o) Year to 100% WWS
Dominican R.	2023	0.417	0.000	0.451	0.626	0.000	0.000	0.624	0.000	0.000	0.000	0.000	2.118	0.607	5.8	
	2024	0.433	0.000	0.596	0.827	0.000	0.000	0.625	0.000	0.000	0.000	0.000	2.481	0.691	6.6	2140
	2050	16.965	1.507	8.985	8.236	0.000	0.680	0.624	0.000	0.014	0.000	0.000	37.011	10.401		
Ecuador	2023	0.071	0.000	0.013	0.018	0.000	0.000	5.192	0.000	0.000	0.005	0.000	5.299	2.280	19.5	
	2024	0.071	0.000	0.013	0.019	0.000	0.000	5.215	0.000	0.000	0.005	0.000	5.323	2.290	19.6	2350+
	2050	27.944	1.238	8.742	15.773	0.000	1.000	5.192	0.014	0.018	0.005	0.000	59.926	11.711		
Egypt	2023	1.890	0.000	0.769	1.067	0.020	0.000	2.832	0.000	0.000	0.044	0.000	6.622	2.289	2.4	
	2024	2.199	0.000	1.077	1.493	0.020	0.000	2.832	0.000	0.000	0.044	0.000	7.665	2.601	2.7	2323
	2050	90.244	20.096	118.990	78.301	0.000	0.000	2.832	0.000	0.036	0.044	0.000	310.542	95.953		
El Salvador	2023	0.054	0.000	0.271	0.376	0.000	0.209	0.638	0.000	0.000	0.003	0.000	1.551	0.485	13.6	
	2024	0.054	0.000	0.272	0.376	0.000	0.209	0.643	0.000	0.000	0.003	0.000	1.557	0.487	13.6	2350+
	2050	3.506	0.661	2.612	3.764	0.000	2.000	0.573	0.009	0.005	0.003	0.000	13.133	3.580		
Eq. Guinea	2023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.127	0.000	0.000	0.000	0.000	0.127	0.039	1.8	
	2024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.127	0.000	0.000	0.000	0.000	0.127	0.039	1.8	2350+
	2050	3.142	1.120	4.843	3.093	0.000	0.000	0.127	0.007	0.004	0.000	0.000	12.335	2.128		
Eritrea	2023	0.001	0.000	0.010	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.005	1.3	
	2024	0.001	0.000	0.010	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.005	1.3	2350+
	2050	0.408	0.079	0.585	0.583	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	1.655	0.383		
Estonia	2023	0.337	0.000	0.341	0.472	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.063	0.014	1.237	0.309	12.3	
	2024	0.572	0.000	0.556	0.770	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.063	0.014	1.985	0.490	19.6	2035
	2050	2.519	0.505	2.150	4.188	0.000	0.228	0.008	0.000	0.004	0.063	0.014	9.679	2.503		
Ethiopia	2023	0.324	0.000	0.009	0.012	0.000	0.007	4.883	0.000	0.000	0.002	0.000	5.237	1.625	6.9	
	2024	0.324	0.000	0.009	0.013	0.000	0.007	5.683	0.000	0.000	0.002	0.000	6.038	1.874	8.0	2111
	2050	26.029	0.000	27.595	38.029	0.000	1.710	4.883	0.000	0.000	0.002	0.000	98.248	23.539		
Finland	2023	6.914	0.032	0.413	0.573	0.000	0.000	3.169	0.000	0.000	2.300	0.057	13.458	5.412	18.7	
	2024	8.328	0.032	0.504	0.699	0.000	0.000	3.191	0.000	0.000	2.300	0.057	15.111	6.036	20.9	2061
	2050	39.130	9.675	10.211	22.715	0.000	0.000	3.177	0.000	0.023	2.300	0.057	87.288	28.936		
France	2023	21.645	1.487	7.290	10.109	0.009	0.016	24.598	0.000	0.212	2.598	1.634	69.598	23.679	20.6	
	2024	23.105	1.487	9.020	12.508	0.000	0.016	24.641	0.000	0.212	2.598	1.634	75.221	24.968	21.8	2094
	2050	112.271	31.354	75.883	156.021	0.064	5.567	24.139	0.171	0.193	2.598	1.634	409.894	114.782		
Gabon	2023	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.331	0.000	0.000	0.000	0.000	0.332	0.102	0.8	
	2024	0.000	0.000	0.005	0.007	0.000	0.000	0.331	0.000	0.000	0.000	0.000	0.343	0.104	0.9	2350+
	2050	30.422	5.497	17.159	16.655	0.000	0.000	0.331	0.032	0.018	0.000	0.000	70.114	12.054		
Georgia	2023	0.021	0.000	0.027	0.037	0.000	0.000	3.450	0.000	0.000	0.069	0.000	3.604	1.152	38.6	
	2024	0.021	0.000	0.056	0.077	0.000	0.000	3.414	0.000	0.000	0.069	0.000	3.637	1.152	38.6	2350+
	2050	2.910	0.216	0.971	1.742	0.000	0.000	3.446	0.000	0.004	0.069	0.000	9.358	2.987		
Germany	2023	61.013	8.473	31.376	43.506	0.002	0.052	5.606	0.000	0.000	4.806	13.934	168.768	47.570	28.4	
	2024	63.608	9.215	37.686	52.257	0.000	0.044	5.844	0.000	0.000	4.806	13.934	187.394	51.589	30.8	2053
	2050	167.517	38.513	129.938	282.969	0.001	8.177	5.741	0.500	0.035	4.806	13.934	652.131	167.502		
Ghana	2023	0.000	0.000	0.079	0.109	0.000	0.000	1.584	0.000	0.000	0.000	0.004	1.776	0.518	4.2	
	2024	0.000	0.000	0.079	0.109	0.000	0.000	1.584	0.000	0.000	0.000	0.004	1.776	0.518	4.2	2350+
	2050	27.875	2.805	21.736	17.299	0.000	0.000	1.584	0.036	0.013	0.000	0.004	71.353	12.317		
Gibraltar	2023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	
	2024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	2350+
	2050	0.150	4.566	0.009	0.087	0.000	0.000	0.000	0.007	0.001	0.000	0.000	4.819	2.453		
Greece	2023	5.232	0.000	2.803	3.886	0.000	0.000	3.459	0.000	0.000	0.259	3.494	19.133	5.034	37.3	
	2024	5.357	0.000	3.884	5.385	0.000	0.000	3.437	0.000	0.000	0.259	3.494	21.816	5.502	40.7	2041
	2050	13.946	2.397	14.222	12.603	0.000	0.680	3.427	0.042	0.024	0.260	3.494	51.093	13.502		
Guatemala	2023	0.107	0.000	0.043	0.059	0.000	0.049	1.575	0.000	0.000	0.002	0.000	1.835	0.637	8.3	
	2024	0.107	0.000	0.043	0.059	0.000	0.049	1.575	0.000	0.000	0.002	0.000	1.835	0.637	8.3	2350+
	2050	12.941	1.750	6.340	9.182	0.000	0.359	1.574	0.022	0.011	0.002	0.000	32.181	7.640		
Guyana	2023	0.000	0.000	0.007	0.010	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.004	0.5	
	2024	0.000	0.000	0.007	0.010	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.005	0.6	2350+
	2050	3.018	0.126	0.865	1.303	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	5.316	0.861		

Country	Year	(a) On-shore wind (GW)	(b) Off- shore wind (GW)	(c) Roof PV (GW)	(d) Utility PV (GW)	(e) CSP (GW)	(f) Geo- elec (GW)	(g) Hydr o (GW)	(h) Wave (GW)	(i) Tidal (GW)	(j) Geo- heat (GW)	(k) Solar heat (GW)	(l) Total WWS- name- plate (GW)	(m) Total WWS output (GW)	(n) Pct of 2050 met (%)	(o) Year to 100% WWS
Haiti	2023	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.078	0.000	0.000	0.000	0.000	0.082	0.030	1.3	
	2024	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.078	0.000	0.000	0.000	0.000	0.082	0.030	1.3	2350+
	2050	3.608	0.382	2.284	2.099	0.000	0.000	0.078	0.000	0.004	0.000	0.000	8.455	2.310		
Honduras	2023	0.239	0.000	0.222	0.307	0.000	0.039	0.910	0.000	0.000	0.002	0.000	1.719	0.516	11.5	
	2024	0.239	0.000	0.232	0.322	0.000	0.039	0.910	0.000	0.000	0.002	0.000	1.744	0.522	11.6	2350+
	2050	7.973	0.866	3.759	5.305	0.000	0.198	0.910	0.012	0.007	0.002	0.000	19.032	4.501		
Hong Kong	2023	0.001	0.000	0.140	0.193	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.335	0.065	0.3	
	2024	0.001	0.000	0.140	0.193	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.335	0.065	0.3	2350+
	2050	0.180	38.427	1.389	31.708	0.000	0.000	0.001	0.070	0.016	0.000	0.000	71.790	22.237		
Hungary	2023	0.324	0.000	2.476	3.434	0.000	0.003	0.060	0.000	0.000	1.024	0.266	7.587	1.666	11.5	
	2024	0.324	0.000	3.226	4.473	0.000	0.003	0.060	0.000	0.000	1.024	0.266	9.376	1.961	13.5	2067
	2050	8.945	0.000	19.610	39.737	0.000	0.804	0.060	0.000	0.000	1.024	0.266	70.446	14.491		
Iceland	2023	0.004	0.000	0.003	0.004	0.000	0.788	2.147	0.000	0.000	2.373	0.000	5.319	2.972	83.1	
	2024	0.004	0.000	0.003	0.004	0.000	0.788	2.147	0.000	0.000	2.373	0.000	5.319	2.972	83.1	2350+
	2050	0.707	0.000	0.000	0.000	0.000	1.139	2.114	0.002	0.002	2.373	0.000	6.336	3.575		
India	2023	44.74	0.00	30.38	42.13	0.34	0.00	47.33	0.00	0.00	0.36	11.48	176.76	48.73	4.1	
	2024	48.16	0.00	40.66	56.38	0.34	0.00	47.51	0.00	0.00	0.36	11.48	204.89	54.68	4.6	2213
	2025	54.78	0.00	57.12	79.21	0.34	0.00	47.51	0.00	0.00	0.36	11.48	250.80	64.43	5.5	2139
	2050	1,089.60	96.97	1,506.96	2,444.32	2.21	10.00	47.33	3.93	0.70	0.36	11.48	5,213.87	1,176.19		
Indonesia	2023	0.152	0.000	0.264	0.366	0.000	2.598	6.784	0.000	0.000	0.002	0.000	10.166	4.955	1.9	
	2024	0.000	0.000	0.341	0.474	0.000	2.688	7.225	0.000	0.000	0.002	0.000	10.730	5.223	2.0	2350+
	2050	39.254	217.047	558.664	515.066	0.000	9.790	6.784	0.404	0.269	0.002	0.000	1,347.28	258.571		
Iran	2023	0.365	0.000	0.249	0.346	0.000	0.000	11.679	0.000	0.000	0.082	0.000	12.721	5.216	2.2	
	2024	0.376	0.000	0.328	0.454	0.000	0.000	11.781	0.000	0.000	0.082	0.000	13.021	5.302	2.2	2350+
	2050	253.559	44.012	239.931	288.912	0.144	0.005	11.679	0.000	0.036	0.082	0.000	838.360	240.872		
Iraq	2023	0.000	0.000	0.018	0.024	0.000	0.000	1.557	0.000	0.000	0.000	0.000	1.599	0.661	1.5	
	2024	0.000	0.000	0.018	0.024	0.000	0.000	1.557	0.000	0.000	0.000	0.000	1.599	0.661	1.5	2350+
	2050	57.908	1.046	40.124	43.635	0.022	0.000	1.557	0.000	0.003	0.000	0.000	144.296	43.447		
Ireland	2023	4.714	0.025	0.372	0.516	0.000	0.000	0.237	0.000	0.000	0.201	0.243	6.308	2.305	20.9	
	2024	4.917	0.025	0.561	0.779	0.000	0.000	0.237	0.000	0.000	0.201	0.243	6.963	2.463	22.4	2078
	2050	9.674	2.752	5.631	24.999	0.000	0.505	0.237	0.012	0.018	0.201	0.243	44.272	11.011		
Israel	2023	0.343	0.000	2.210	3.064	0.242	0.000	0.006	0.000	0.000	0.082	3.449	9.396	1.965	8.7	
	2024	0.343	0.000	2.247	3.116	0.242	0.000	0.006	0.000	0.000	0.082	3.449	9.485	1.985	8.8	2350+
	2050	3.084	3.453	15.382	70.846	0.016	0.000	0.006	0.000	0.009	0.082	3.449	96.326	22.480		
Italy	2023	12.276	0.000	12.298	17.053	0.005	0.772	18.942	0.000	0.000	1.425	3.462	66.233	18.739	22.2	
	2024	12.961	0.000	15.087	20.921	0.005	0.772	18.969	0.000	0.000	1.425	3.462	73.602	20.127	23.9	2070
	2050	83.306	15.215	75.311	86.871	0.043	13.097	18.848	0.239	0.075	1.425	3.462	297.892	84.228		
Jamaica	2023	0.102	0.000	0.047	0.066	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.245	0.065	2.7	
	2024	0.102	0.000	0.049	0.068	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.249	0.066	2.8	2350+
	2050	0.357	1.188	4.334	3.130	0.000	0.000	0.030	0.000	0.005	0.000	0.000	9.043	2.382		
Japan	2023	5.153	0.190	37.323	51.754	0.000	0.428	28.216	0.000	0.000	2.570	2.404	128.038	30.888	15.3	
	2024	5.542	0.290	38.385	53.225	0.000	0.461	28.194	0.000	0.000	2.570	2.404	131.071	31.503	15.6	2301
	2050	10.814	255.211	38.012	389.838	0.000	1.460	28.216	0.614	0.349	2.571	2.404	729.488	201.633		
Jordan	2023	0.631	0.000	0.834	1.156	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.153	0.882	3.660	0.854	9.9	
	2024	0.631	0.000	0.870	1.207	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.153	0.882	3.747	0.872	10.1	2350+
	2050	11.551	0.469	7.804	8.140	0.004	0.000	0.004	0.000	0.002	0.153	0.882	29.009	8.650		
Kazakhstan	2023	1.440	0.000	0.547	0.759	0.000	0.000	2.903	0.000	0.000	0.000	0.000	5.649	1.787	4.6	
	2024	1.411	0.000	0.501	0.695	0.000	0.000	2.810	0.000	0.000	0.000	0.000	5.417	1.724	4.5	2350+
	2050	45.962	0.000	45.122	42.336	0.000	0.000	2.903	0.000	0.000	0.000	0.000	136.323	38.728		
Kenya	2023	0.436	0.000	0.155	0.214	0.000	0.985	0.860	0.000	0.000	0.019	0.000	2.669	1.098	8.5	
	2024	0.436	0.000	0.155	0.214	0.000	0.940	0.859	0.000	0.000	0.019	0.000	2.623	1.069	8.3	2350+
	2050	14.484	2.753	15.803	14.826	0.000	1.810	0.859	0.037	0.013	0.019	0.000	50.604	12.890		
North Korea	2023	0.002	0.000	0.054	0.075	0.000	0.000	4.890	0.000	0.001	0.000	0.000	5.022	2.269	7.1	
	2024	0.002	0.000	0.060	0.083	0.000	0.000	4.910	0.000	0.001	0.000	0.000	5.056	2.281	7.2	2350+
	2050	32.833	6.069	8.942	60.276	0.000	0.000	4.890	0.000	0.041	0.000	0.000	113.051	31.767		

Country	Year	(a) On-shore wind (GW)	(b) Off- shore wind (GW)	(c) Roof PV (GW)	(d) Utility PV (GW)	(e) CSP (GW)	(f) Geo- elec (GW)	(g) Hydr o (GW)	(h) Wave (GW)	(i) Tidal (GW)	(j) Geo- heat (GW)	(k) Solar heat (GW)	(l) Total WWS- name- plate (GW)	(m) Total WWS output (GW)	(n) Pct of 2050 met (%)	(o) Year to 100% WWS
South Korea	2023	2.069	0.136	9.844	13.649	0.000	0.000	1.805	0.000	0.256	1.490	1.353	30.602	6.053	3.1	
	2024	2.165	0.136	11.164	15.481	0.000	0.000	1.803	0.000	0.255	1.490	1.353	33.847	6.570	3.4	2350+
	2050	2.137	174.863	186.137	581.409	0.000	0.000	1.805	0.000	0.308	1.490	1.353	949.503	195.691		
Kosovo	2023	0.137	0.000	0.008	0.012	0.000	0.000	0.122	0.000	0.000	0.000	0.000	0.279	0.107	6.3	
	2024	0.137	0.000	0.008	0.012	0.000	0.000	0.122	0.000	0.000	0.000	0.000	0.279	0.107	6.3	2350+
	2050	1.932	0.000	2.169	2.871	0.000	0.091	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000	7.173	1.714		
Kuwait	2023	0.012	0.000	0.021	0.029	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.114	0.054	0.2	
	2024	0.012	0.000	0.021	0.029	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.114	0.054	0.2	2350+
	2050	1.193	9.001	4.959	111.209	0.020	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	126.395	28.249		
Kyrgyz Rep.	2023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.210	0.000	0.000	0.000	0.000	3.210	0.962	27.4	
	2024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.258	0.000	0.000	0.000	0.000	3.258	0.976	27.8	2200
	2050	3.302	0.000	2.844	2.525	0.002	0.000	3.210	0.000	0.000	0.000	0.000	11.883	3.509		
Laos	2023	0.000	0.000	0.024	0.034	0.000	0.000	9.756	0.000	0.000	0.000	0.000	9.814	3.909	91.9	
	2024	0.000	0.000	0.024	0.034	0.000	0.000	10.189	0.000	0.000	0.000	0.000	10.247	4.082	95.9	2025
	2050	0.129	0.000	0.808	1.042	0.000	0.000	9.756	0.000	0.000	0.000	0.000	11.735	4.256		
Latvia	2023	0.128	0.000	0.134	0.185	0.000	0.000	1.588	0.000	0.000	0.002	0.028	2.065	0.733	22.5	
	2024	0.128	0.000	0.195	0.271	0.000	0.000	1.588	0.000	0.000	0.002	0.028	2.212	0.757	23.2	2127
	2050	2.729	0.468	3.527	3.807	0.000	0.133	1.567	0.000	0.005	0.002	0.028	12.265	3.257		
Lebanon	2023	0.003	0.000	0.421	0.584	0.000	0.000	0.282	0.000	0.000	0.000	0.515	1.805	0.380	17.1	
	2024	0.003	0.000	0.421	0.584	0.000	0.000	0.282	0.000	0.000	0.000	0.515	1.805	0.380	17.1	2350+
	2050	0.822	0.869	3.377	3.239	0.000	0.000	0.282	0.000	0.005	0.000	0.515	9.110	2.219		
Libya	2023	0.000	0.000	0.003	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.002	0.0	
	2024	0.000	0.000	0.003	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.002	0.0	2350+
	2050	16.803	3.455	22.482	14.308	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	57.076	17.579		
Lithuania	2023	1.284	0.000	0.555	0.769	0.000	0.000	0.117	0.000	0.000	0.126	0.016	2.867	0.854	13.7	
	2024	1.828	0.000	1.076	1.491	0.000	0.000	0.089	0.000	0.000	0.126	0.016	4.626	1.271	20.3	2036
	2050	6.219	1.231	7.175	9.728	0.000	0.313	0.118	0.000	0.004	0.126	0.016	24.929	6.252		
Luxembourg	2023	0.207	0.000	0.165	0.229	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.048	0.683	0.167	6.2	
	2024	0.210	0.000	0.219	0.304	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.048	0.815	0.190	7.1	2135
	2050	0.995	0.000	0.402	12.600	0.000	0.126	0.034	0.000	0.000	0.000	0.048	14.204	2.689		
Macedonia	2023	0.074	0.000	0.212	0.294	0.000	0.000	0.713	0.000	0.000	0.047	0.087	1.427	0.425	21.2	
	2024	0.074	0.000	0.349	0.484	0.000	0.000	0.713	0.000	0.000	0.047	0.087	1.754	0.479	23.9	2052
	2050	1.641	0.000	2.679	3.543	0.000	0.000	0.696	0.000	0.000	0.047	0.087	8.694	2.002		
Madagascar	2023	0.000	0.000	0.024	0.034	0.000	0.000	0.193	0.000	0.000	0.003	0.000	0.254	0.080	1.0	
	2024	0.000	0.000	0.024	0.034	0.000	0.000	0.193	0.000	0.000	0.003	0.000	0.254	0.080	1.0	2350+
	2050	13.686	1.346	6.544	15.259	0.000	0.000	0.193	0.014	0.008	0.003	0.000	37.053	8.119		
Malaysia	2023	0.000	0.000	0.899	1.247	0.000	0.000	6.215	0.000	0.000	0.005	0.000	8.366	2.886	2.8	
	2024	0.000	0.000	0.966	1.340	0.000	0.000	6.227	0.000	0.000	0.005	0.000	8.538	2.920	2.8	2350+
	2050	2.838	107.081	168.884	254.081	0.000	0.000	6.215	0.265	0.054	0.005	0.000	539.424	103.439		
Malta	2023	0.000	0.000	0.095	0.131	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.052	0.278	0.042	2.8	
	2024	0.000	0.000	0.098	0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.052	0.285	0.043	2.8	2350+
	2050	0.150	0.970	0.276	5.244	0.000	0.000	0.000	0.006	0.003	0.000	0.052	6.700	1.503		
Mauritius	2023	0.011	0.000	0.052	0.073	0.000	0.000	0.062	0.000	0.000	0.000	0.093	0.291	0.068	4.0	
	2024	0.011	0.000	0.058	0.081	0.000	0.000	0.062	0.000	0.000	0.000	0.093	0.305	0.071	4.2	2350+
	2050	0.100	1.090	0.631	4.629	0.000	0.000	0.061	0.003	0.003	0.000	0.093	6.609	1.704		
Mexico	2023	7.318	0.000	5.018	6.957	0.017	0.999	12.838	0.000	0.000	0.156	3.584	36.887	9.865	7.0	
	2024	7.318	0.000	5.018	6.957	0.017	0.999	12.838	0.000	0.000	0.156	3.584	36.887	9.865	7.0	2350+
	2050	222.790	46.141	129.832	177.296	0.000	7.231	13.304	0.442	0.100	0.156	3.584	600.876	140.965		
Moldova	2023	0.141	0.000	0.084	0.117	0.000	0.000	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.407	0.116	5.2	
	2024	0.123	0.000	0.144	0.200	0.000	0.000	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.532	0.133	5.9	2155
	2050	2.524	0.000	2.471	4.745	0.000	0.000	0.064	0.000	0.000	0.000	0.000	9.804	2.255		
Mongolia	2023	0.155	0.000	0.045	0.063	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.023	0.000	0.315	0.108	1.8	
	2024	0.156	0.000	0.060	0.083	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.023	0.000	0.351	0.116	2.0	2350+
	2050	6.897	0.000	4.459	11.237	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.023	0.000	22.645	5.894		

Country	Year	(a) On-shore wind (GW)	(b) Off- shore wind (GW)	(c) Roof PV (GW)	(d) Utility PV (GW)	(e) CSP (GW)	(f) Geo- elec (GW)	(g) Hydr o (GW)	(h) Wave (GW)	(i) Tidal (GW)	(j) Geo- heat (GW)	(k) Solar heat (GW)	(l) Total WWS- name- plate (GW)	(m) Total WWS output (GW)	(n) Pct of 2050 met (%)	(o) Year to 100% WWS
Montenegro	2023	0.118	0.000	0.007	0.010	0.000	0.000	0.697	0.000	0.000	0.000	0.000	0.832	0.325	40.3	
	2024	0.118	0.000	0.013	0.017	0.000	0.000	0.697	0.000	0.000	0.000	0.000	0.845	0.327	40.6	2247
	2050	0.633	0.106	0.689	0.639	0.000	0.000	0.697	0.000	0.001	0.000	0.000	2.765	0.806		
Morocco	2023	1.858	0.000	0.165	0.229	0.540	0.000	1.306	0.000	0.000	0.005	0.627	4.730	1.497	6.7	
	2024	2.128	0.000	0.165	0.229	0.540	0.000	1.306	0.000	0.000	0.005	0.627	5.000	1.628	7.3	2181
	2050	20.362	3.731	28.124	19.355	0.000	0.000	1.306	0.033	0.030	0.005	0.627	73.572	22.268		
Mozambique	2023	0.000	0.000	0.043	0.060	0.000	0.000	2.194	0.000	0.000	0.000	0.002	2.299	0.736	9.0	
	2024	0.000	0.000	0.045	0.062	0.000	0.000	2.194	0.000	0.000	0.000	0.002	2.303	0.737	9.1	2350+
	2050	9.671	1.585	10.066	7.340	0.000	0.000	2.192	0.010	0.013	0.000	0.002	30.878	8.140		
Myanmar	2023	0.000	0.000	0.076	0.105	0.000	0.000	3.269	0.000	0.000	0.000	0.000	3.450	1.340	11.9	
	2024	0.000	0.000	0.091	0.125	0.000	0.000	3.269	0.000	0.000	0.000	0.000	3.485	1.347	12.0	2350+
	2050	4.613	7.132	22.193	20.732	0.000	0.000	3.269	0.051	0.029	0.000	0.000	58.020	11.223		
Namibia	2023	0.005	0.000	0.068	0.095	0.000	0.000	0.351	0.000	0.000	0.000	0.038	0.557	0.154	7.0	
	2024	0.005	0.000	0.068	0.095	0.000	0.000	0.351	0.000	0.000	0.000	0.038	0.557	0.154	7.0	2350+
	2050	2.346	0.446	3.160	2.217	0.000	0.000	0.351	0.003	0.004	0.000	0.038	8.565	2.186		
Nepal	2023	0.000	0.000	0.049	0.068	0.000	0.000	2.677	0.000	0.000	0.004	0.000	2.798	1.127	6.8	
	2024	0.000	0.000	0.073	0.102	0.000	0.000	3.293	0.000	0.000	0.004	0.000	3.472	1.392	8.4	2082
	2050	7.610	0.000	11.891	53.246	0.000	0.000	2.677	0.000	0.000	0.004	0.000	75.427	16.635		
Netherlands	2023	6.757	3.978	8.914	12.361	0.000	0.000	0.038	0.000	0.002	1.719	0.469	34.238	9.257	20.3	
	2024	6.932	4.748	10.076	13.972	0.000	0.000	0.038	0.000	0.002	1.719	0.469	37.956	10.186	22.3	2062
	2050	30.470	15.874	8.991	126.132	0.000	2.202	0.038	0.000	0.012	1.719	0.469	185.905	45.612		
New Zealand	2023	1.059	0.000	0.152	0.211	0.000	1.050	5.680	0.000	0.000	0.518	0.112	8.782	4.115	20.1	
	2024	1.263	0.000	0.239	0.331	0.000	1.275	5.680	0.000	0.000	0.518	0.112	9.418	4.427	21.6	2075
	2050	17.985	4.633	12.622	24.916	0.000	0.704	5.680	0.017	0.025	0.518	0.112	67.210	20.485		
Nicaragua	2023	0.186	0.000	0.008	0.010	0.000	0.165	0.160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.529	0.185	10.2	
	2024	0.186	0.000	0.015	0.021	0.000	0.165	0.160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.547	0.189	10.4	2350+
	2050	2.570	0.471	1.822	2.646	0.000	0.103	0.160	0.006	0.004	0.000	0.000	7.782	1.815		
Niger	2023	0.000	0.000	0.035	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.083	0.018	0.6	
	2024	0.000	0.000	0.035	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.083	0.018	0.6	2350+
	2050	2.596	0.000	4.589	3.906	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.091	3.115		
Nigeria	2023	0.000	0.000	0.060	0.083	0.000	0.000	2.861	0.000	0.000	0.001	0.010	3.015	0.904	1.6	
	2024	0.000	0.000	0.060	0.084	0.000	0.000	2.861	0.000	0.000	0.001	0.010	3.016	0.904	1.6	2350+
	2050	105.873	0.000	110.971	106.777	0.000	0.000	2.851	0.181	0.018	0.001	0.010	326.681	55.083		
Norway	2023	5.062	0.002	0.274	0.379	0.000	0.000	34.291	0.000	0.000	1.150	0.034	41.192	16.241	78.3	
	2024	5.062	0.090	0.336	0.466	0.000	0.000	34.698	0.000	0.000	1.150	0.034	41.836	16.471	79.4	2043
	2050	8.799	1.670	6.213	6.913	0.000	0.000	34.401	0.010	0.011	1.150	0.034	59.202	20.735		
Oman	2023	0.050	0.000	0.282	0.390	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.722	0.160	0.6	
	2024	0.050	0.000	0.282	0.390	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.722	0.160	0.6	2350+
	2050	20.713	7.873	21.951	47.359	0.000	0.000	0.000	0.099	0.032	0.000	0.000	98.028	26.370		
Pakistan	2023	1.845	0.000	0.521	0.722	0.000	0.000	10.636	0.000	0.000	0.000	0.000	13.724	4.280	3.8	
	2024	1.845	0.000	0.585	0.810	0.000	0.000	11.529	0.000	0.000	0.000	0.000	14.769	4.577	4.0	2350+
	2050	113.663	19.699	158.534	101.186	0.000	0.000	10.636	0.346	0.021	0.000	0.000	404.084	113.596		
Panama	2023	0.336	0.000	0.271	0.375	0.000	0.000	1.847	0.000	0.000	0.000	0.000	2.829	0.881	13.0	
	2024	0.336	0.000	0.311	0.432	0.000	0.000	1.848	0.000	0.000	0.000	0.000	2.927	0.902	13.3	2300
	2050	11.493	1.650	5.575	8.067	0.000	0.000	1.845	0.019	0.011	0.000	0.000	28.660	6.787		
Paraguay	2023	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	8.824	0.000	0.000	0.000	0.000	8.825	3.738	71.6	
	2024	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	8.824	0.000	0.000	0.000	0.000	8.825	3.738	71.6	2350+
	2050	3.413	0.000	2.260	2.132	0.000	0.000	8.810	0.000	0.000	0.000	0.000	16.615	5.224		
Peru	2023	1.015	0.000	0.187	0.260	0.000	0.000	5.523	0.000	0.000	0.003	0.000	6.988	2.623	14.9	
	2024	1.151	0.000	0.221	0.307	0.000	0.000	5.523	0.000	0.000	0.003	0.000	7.205	2.656	15.1	2350+
	2050	38.383	0.014	15.593	33.040	0.002	1.010	5.504	0.031	0.035	0.003	0.000	93.615	17.633		
Philippines	2023	0.443	0.000	0.755	1.047	0.000	1.952	3.090	0.000	0.000	0.002	0.000	7.289	3.356	5.4	
	2024	0.443	0.000	1.245	1.726	0.000	1.952	3.133	0.000	0.000	0.002	0.000	8.501	3.635	5.8	2236
	2050	12.594	11.679	61.199	170.572	0.000	2.256	3.090	0.138	0.078	0.002	0.000	261.607	62.708		

Country	Year	(a) On-shore wind (GW)	(b) Off- shore wind (GW)	(c) Roof PV (GW)	(d) Utility PV (GW)	(e) CSP (GW)	(f) Geo- elec (GW)	(g) Hydr o (GW)	(h) Wave (GW)	(i) Tidal (GW)	(j) Geo- heat (GW)	(k) Solar heat (GW)	(l) Total WWS- name- plate (GW)	(m) Total WWS output (GW)	(n) Pct of 2050 met (%)	(o) Year to 100% WWS
Poland	2023	9.343	0.000	6.883	9.545	0.000	0.000	0.987	0.000	0.000	0.756	2.105	29.619	7.481	13.9	
	2024	10.059	0.000	8.463	11.736	0.000	0.000	0.988	0.000	0.000	0.756	2.105	34.107	8.396	15.6	2074
	2050	55.470	9.761	71.753	72.657	0.000	2.861	0.983	0.000	0.012	0.756	2.105	216.358	53.964		
Portugal	2023	5.513	0.025	1.693	2.347	0.000	0.029	8.187	0.000	0.000	0.021	0.872	18.687	6.257	40.3	
	2024	5.558	0.025	2.434	3.374	0.000	0.029	8.347	0.000	0.000	0.021	0.872	20.660	6.630	42.7	2048
	2050	15.702	2.035	13.922	12.827	0.000	0.607	8.188	0.019	0.021	0.021	0.872	54.213	15.508		
Qatar	2023	0.000	0.000	0.337	0.468	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.805	0.165	0.5	
	2024	0.000	0.000	0.704	0.976	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.680	0.345	1.1	2190
	2050	0.777	10.155	2.735	121.115	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	134.796	30.125		
Romania	2023	3.027	0.000	1.252	1.736	0.000	0.000	6.596	0.000	0.000	0.245	0.164	13.020	4.462	24.8	
	2024	3.096	0.000	1.964	2.724	0.000	0.000	6.589	0.000	0.000	0.245	0.164	14.782	4.768	26.5	2067
	2050	17.278	2.840	20.260	17.969	0.000	0.866	6.574	0.000	0.008	0.245	0.164	66.204	17.998		
Russia	2023	2.532	0.000	0.919	1.274	0.000	0.081	51.624	0.000	0.001	0.433	0.019	56.883	18.188	5.9	
	2024	2.567	0.000	1.070	1.484	0.000	0.081	49.096	0.000	0.004	0.433	0.019	54.754	17.459	5.6	2350+
	2050	515.580	7.366	110.782	255.899	0.000	0.500	50.571	0.514	0.350	0.433	0.019	942.013	310.200		
Rwanda	2023	0.000	0.000	0.012	0.016	0.000	0.000	0.124	0.000	0.000	0.000	0.000	0.152	0.044	1.5	
	2024	0.000	0.000	0.012	0.016	0.000	0.000	0.153	0.000	0.000	0.000	0.000	0.181	0.053	1.8	2340
	2050	1.630	0.000	3.796	7.887	0.000	0.111	0.124	0.000	0.000	0.000	0.000	13.548	2.893		
Saudi Arabia	2023	0.403	0.000	1.062	1.473	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.000	3.033	0.756	0.4	
	2024	0.403	0.000	1.798	2.492	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.000	4.788	1.116	0.6	2350+
	2050	237.985	29.088	174.227	169.642	0.104	0.000	0.000	0.000	0.038	0.045	0.000	611.127	185.313		
Senegal	2023	0.159	0.000	0.097	0.134	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.398	0.066	1.5	
	2024	0.159	0.000	0.114	0.159	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.440	0.073	1.6	2350+
	2050	13.114	0.925	7.466	5.037	0.000	0.000	0.000	0.016	0.009	0.000	0.008	26.574	4.515		
Serbia	2023	0.510	0.000	0.083	0.114	0.000	0.000	2.511	0.000	0.000	0.115	0.000	3.333	1.286	14.5	
	2024	0.604	0.000	0.101	0.140	0.000	0.000	2.513	0.000	0.000	0.115	0.000	3.473	1.333	15.0	2186
	2050	5.677	0.000	14.425	19.097	0.000	0.000	2.494	0.000	0.000	0.115	0.000	41.808	8.885		
Singapore	2023	0.000	0.000	0.385	0.534	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.919	0.171	0.1	
	2024	0.000	0.000	0.485	0.672	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.157	0.216	0.2	2350+
	2050	0.020	551.436	4.427	20.632	0.000	3.450	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	579.972	119.713		
Slovakia	2023	0.004	0.000	0.248	0.345	0.000	0.000	1.615	0.000	0.000	0.230	0.127	2.569	0.860	9.9	
	2024	0.004	0.000	0.363	0.504	0.000	0.000	1.615	0.000	0.000	0.230	0.127	2.843	0.905	10.4	2197
	2050	8.718	0.000	10.244	14.842	0.000	0.424	1.616	0.000	0.000	0.230	0.127	36.201	8.698		
Slovenia	2023	0.003	0.000	0.432	0.599	0.000	0.000	1.171	0.000	0.000	0.266	0.104	2.575	0.773	18.8	
	2024	0.003	0.000	0.548	0.761	0.000	0.000	1.192	0.000	0.000	0.266	0.104	2.874	0.827	20.1	2085
	2050	4.141	0.662	4.362	4.091	0.000	0.172	1.162	0.000	0.003	0.266	0.104	14.962	4.116		
South Africa	2023	3.442	0.000	2.374	3.291	0.500	0.000	0.752	0.000	0.000	0.002	1.745	12.106	3.100	3.6	
	2024	3.442	0.000	2.586	3.585	0.500	0.000	0.752	0.000	0.000	0.002	1.745	12.612	3.205	3.8	2350+
	2050	66.190	20.908	141.986	117.616	0.104	0.000	0.752	0.130	0.039	0.002	1.745	349.471	85.107		
South Sudan	2023	0.000	0.000	0.007	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.003	0.6	
	2024	0.000	0.000	0.013	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.006	1.1	2226
	2050	0.532	0.000	0.831	1.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.512	0.552		
Spain	2023	30.863	0.005	12.409	17.207	2.304	0.000	16.809	0.000	0.005	0.544	3.296	83.442	26.346	36.1	
	2024	31.806	0.005	15.203	21.082	2.302	0.000	16.809	0.000	0.005	0.544	3.296	91.052	27.830	38.1	2054
	2050	82.937	12.546	68.651	73.754	0.075	3.535	16.809	0.099	0.123	0.544	3.296	262.369	73.036		
Sri Lanka	2023	0.267	0.000	0.401	0.557	0.000	0.000	1.843	0.000	0.000	0.000	0.000	3.068	1.028	9.0	
	2024	0.267	0.000	0.608	0.842	0.000	0.000	1.846	0.000	0.000	0.000	0.000	3.563	1.126	9.8	2129
	2050	14.547	1.566	13.432	15.987	0.000	0.000	1.843	0.037	0.022	0.000	0.000	47.435	11.460		
Sudan	2023	0.000	0.000	0.080	0.110	0.000	0.000	1.482	0.000	0.000	0.000	0.000	1.672	0.496	3.9	
	2024	0.000	0.000	0.080	0.110	0.000	0.000	1.482	0.000	0.000	0.000	0.000	1.672	0.496	3.9	2350+
	2050	12.446	2.366	19.440	18.835	0.000	0.000	1.482	0.000	0.018	0.000	0.000	54.588	12.639		
Suriname	2023	0.000	0.000	0.003	0.005	0.000	0.000	0.180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.188	0.080	13.8	
	2024	0.000	0.000	0.004	0.006	0.000	0.000	0.180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.190	0.080	13.9	2350+
	2050	1.657	0.152	0.464	0.717	0.000	0.000	0.180	0.002	0.001	0.000	0.000	3.173	0.581		

Country	Year	(a) On-shore wind (GW)	(b) Off- shore wind (GW)	(c) Roof PV (GW)	(d) Utility PV (GW)	(e) CSP (GW)	(f) Geo- elec (GW)	(g) Hydr o (GW)	(h) Wave (GW)	(i) Tidal (GW)	(j) Geo- heat (GW)	(k) Solar heat (GW)	(l) Total WWS- name- plate (GW)	(m) Total WWS output (GW)	(n) Pct of 2050 met (%)	(o) Year to 100% WWS
Eswatini	2023	0.000	0.000	0.004	0.006	0.000	0.000	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072	0.022	1.5	
	2024	0.000	0.000	0.004	0.006	0.000	0.000	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072	0.022	1.5	2350+
	2050	0.922	0.000	2.634	3.174	0.000	0.000	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	6.793	1.523		
Sweden	2023	16.031	0.193	1.673	2.320	0.000	0.000	16.406	0.000	0.000	6.680	0.365	43.668	17.145	43.3	
	2024	17.046	0.193	2.079	2.884	0.000	0.000	16.506	0.000	0.000	6.680	0.365	45.753	17.760	44.8	2060
	2050	42.684	8.950	14.453	31.187	0.000	0.114	16.399	0.000	0.048	6.680	0.365	120.879	39.601		
Switzerland	2023	0.088	0.000	2.553	3.541	0.000	0.000	16.220	0.000	0.000	2.197	1.204	25.803	8.617	56.0	
	2024	0.102	0.000	3.266	4.528	0.000	0.000	16.220	0.000	0.000	2.197	1.204	27.517	8.903	57.8	2047
	2050	9.184	0.000	10.924	14.611	0.000	0.417	15.279	0.000	0.000	2.197	1.204	53.816	15.399		
Syria	2023	0.001	0.000	0.025	0.035	0.000	0.000	1.490	0.000	0.000	0.000	0.000	1.551	0.637	10.1	
	2024	0.001	0.000	0.025	0.035	0.000	0.000	1.490	0.000	0.000	0.000	0.000	1.551	0.637	10.1	2350+
	2050	6.153	1.443	6.646	5.255	0.000	0.000	1.490	0.000	0.007	0.000	0.000	20.993	6.290		
Taiwan	2023	0.914	1.763	5.203	7.215	0.000	0.007	2.104	0.000	0.000	0.000	1.271	18.477	4.248	4.2	
	2024	0.927	2.963	5.984	8.297	0.000	0.007	2.123	0.000	0.000	0.000	1.271	21.572	5.035	5.0	2145
	2050	3.284	82.073	108.414	218.990	0.000	33.640	2.104	0.283	0.027	0.000	1.271	450.087	100.558		
Tajikistan	2023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.737	0.000	0.000	0.003	0.000	5.740	1.721	61.4	
	2024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.737	0.000	0.000	0.003	0.000	5.740	1.721	61.4	2350+
	2050	1.373	0.000	1.164	1.142	0.000	0.000	5.763	0.000	0.000	0.003	0.000	9.444	2.802		
Tanzania	2023	0.002	0.000	0.008	0.012	0.000	0.000	0.680	0.000	0.000	0.000	0.000	0.702	0.215	1.1	
	2024	0.002	0.000	0.008	0.012	0.000	0.000	1.385	0.000	0.000	0.000	0.000	1.407	0.434	2.3	2109
	2050	26.225	4.018	24.083	23.334	0.000	0.000	0.599	0.057	0.032	0.000	0.000	78.348	19.097		
Thailand	2023	1.544	0.000	1.381	1.914	0.005	0.000	3.110	0.000	0.000	0.129	0.110	8.193	2.089	1.7	
	2024	1.544	0.000	1.416	1.963	0.005	0.000	3.133	0.000	0.000	0.129	0.110	8.300	2.114	1.7	2350+
	2050	4.422	121.903	233.406	285.344	0.000	0.120	3.110	0.000	0.043	0.129	0.110	648.585	123.255		
Togo	2023	0.000	0.000	0.028	0.039	0.000	0.000	0.067	0.000	0.000	0.000	0.000	0.134	0.032	1.4	
	2024	0.000	0.000	0.028	0.039	0.000	0.000	0.067	0.000	0.000	0.000	0.000	0.134	0.032	1.4	2350+
	2050	6.664	0.494	3.124	3.095	0.000	0.000	0.067	0.007	0.003	0.000	0.000	13.454	2.295		
Trin. Tobago	2023	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.0	
	2024	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.001	0.0	2350+
	2050	0.264	3.212	3.790	23.028	0.000	0.000	0.000	0.027	0.010	0.000	0.000	30.332	6.827		
Tunisia	2023	0.245	0.000	0.212	0.294	0.000	0.000	0.066	0.000	0.000	0.044	0.804	1.665	0.363	2.7	
	2024	0.245	0.000	0.324	0.449	0.000	0.000	0.066	0.000	0.000	0.044	0.804	1.932	0.421	3.1	2248
	2050	13.678	2.265	16.980	10.135	0.000	0.000	0.066	0.000	0.022	0.044	0.804	43.994	13.595		
Türkiye	2023	11.806	0.000	4.731	6.561	0.001	1.691	31.962	0.000	0.000	3.488	18.426	78.666	25.776	23.3	
	2024	12.973	0.000	8.331	11.551	0.001	1.734	32.386	0.000	0.000	3.488	18.426	88.890	28.257	25.6	2057
	2050	108.738	3.584	82.415	84.514	0.046	14.429	31.779	0.000	0.072	3.488	18.426	347.491	110.593		
Turkmenistan	2023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.0	
	2024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.0	2350+
	2050	27.000	0.000	23.766	22.287	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	73.055	21.232		
Uganda	2023	0.000	0.000	0.036	0.049	0.000	0.000	1.429	0.000	0.000	0.000	0.000	1.514	0.459	2.1	
	2024	0.000	0.000	0.036	0.049	0.000	0.000	1.634	0.000	0.000	0.000	0.000	1.719	0.523	2.4	2350+
	2050	14.350	0.000	25.363	59.221	0.000	0.450	1.033	0.000	0.000	0.000	0.000	100.416	21.587		
Ukraine	2023	1.761	0.000	3.378	4.684	0.000	0.000	4.488	0.000	0.000	1.607	0.000	15.918	4.617	13.1	
	2024	1.761	0.000	2.305	3.196	0.000	0.000	1.250	0.000	0.000	1.607	0.000	10.118	2.922	8.3	2350+
	2050	36.456	6.234	47.020	41.145	0.000	0.000	4.488	0.000	0.039	1.607	0.000	136.989	35.177		
UAE	2023	0.099	0.000	2.267	3.144	0.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.110	1.603	1.6	
	2024	0.099	0.000	2.267	3.144	0.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.110	1.603	1.6	2350+
	2050	35.645	23.774	22.773	342.244	0.070	0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	424.530	100.857		
United King.	2023	15.418	14.745	6.819	9.456	0.000	0.000	2.190	0.000	0.010	0.525	1.042	50.205	17.879	18.4	
	2024	16.157	14.745	7.376	10.227	0.000	0.000	2.190	0.000	0.010	0.525	1.042	52.272	18.401	18.9	2175
	2050	66.615	58.220	49.445	164.844	0.000	4.795	2.190	0.128	0.169	0.525	1.042	347.972	97.152		
U.S.	2023	147.98	0.04	47.70	95.76	1.48	2.67	84.32	0.00	0.00	20.71	18.19	418.85	115.55	8.7	
	2024	152.98	0.17	56.27	137.16	1.48	2.70	84.17	0.00	0.00	20.71	18.19	473.84	127.03	9.6	2128
	2025	161.49	0.17	62.98	164.68	1.48	2.70	84.18	0.00	0.00	20.71	18.19	516.57	136.62	10.3	2149
	2050	1,398.13	499.93	631.75	2,759.78	0.56	6.52	86.66	1.66	0.35	20.71	18.19	5,424.24	1,322.97		

Country	Year	(a) On-shore wind (GW)	(b) Off- shore wind (GW)	(c) Roof PV (GW)	(d) Utility PV (GW)	(e) CSP (GW)	(f) Geo- elec (GW)	(g) Hydr o (GW)	(h) Wave (GW)	(i) Tidal (GW)	(j) Geo- heat (GW)	(k) Solar heat (GW)	(l) Total WWS- name- plate (GW)	(m) Total WWS output (GW)	(n) Pct of 2050 met (%)	(o) Year to 100% WWS
Uruguay	2023	1.524	0.000	0.138	0.192	0.000	0.000	1.538	0.000	0.000	0.000	0.060	3.452	0.991	21.5	
	2024	1.524	0.000	0.138	0.192	0.000	0.000	1.538	0.000	0.000	0.000	0.060	3.452	0.991	21.5	2350+
	2050	6.760	0.702	7.207	4.916	0.000	0.000	1.538	0.016	0.009	0.000	0.060	21.208	4.600		
Uzbekistan	2023	0.001	0.000	0.199	0.276	0.000	0.000	2.415	0.000	0.000	0.000	0.000	2.891	0.815	3.0	
	2024	0.501	0.000	0.953	1.322	0.000	0.000	2.391	0.000	0.000	0.000	0.000	5.167	1.383	5.1	2070
	2050	33.515	0.000	29.736	28.664	0.000	0.000	2.415	0.000	0.000	0.000	0.000	94.330	27.319		
Venezuela	2023	0.050	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	16.914	0.000	0.000	0.001	0.000	16.969	7.376	31.8	
	2024	0.050	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	16.914	0.000	0.000	0.001	0.000	16.969	7.376	31.8	2350+
	2050	54.647	2.361	16.167	24.369	0.000	0.000	16.811	0.061	0.035	0.001	0.000	114.451	23.209		
Vietnam	2023	4.784	1.104	7.788	10.800	0.000	0.000	22.639	0.000	0.000	0.018	0.000	47.133	13.230	10.9	
	2024	5.081	1.104	7.821	10.846	0.000	0.000	23.707	0.000	0.000	0.018	0.000	48.577	13.701	11.3	2253
	2050	2.870	83.372	204.212	306.925	0.000	0.000	22.639	0.399	0.045	0.018	0.000	620.481	121.638		
Yemen	2023	0.000	0.000	0.172	0.238	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.415	0.087	4.2	
	2024	0.000	0.000	0.172	0.238	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.415	0.087	4.2	2350+
	2050	1.668	0.417	3.054	2.374	0.000	0.100	0.000	0.008	0.004	0.005	0.000	7.629	2.072		
Zambia	2023	0.000	0.000	0.056	0.078	0.000	0.000	3.165	0.000	0.000	0.000	0.000	3.299	1.058	10.2	
	2024	0.000	0.000	0.082	0.114	0.000	0.000	3.165	0.000	0.000	0.000	0.000	3.361	1.071	10.4	2350+
	2050	11.380	0.000	13.143	13.831	0.000	0.090	3.165	0.000	0.000	0.000	0.000	41.609	10.338		
Zimbabwe	2023	0.000	0.000	0.019	0.027	0.000	0.000	1.080	0.000	0.000	0.000	0.054	1.180	0.367	6.2	
	2024	0.000	0.000	0.029	0.041	0.000	0.000	1.080	0.000	0.000	0.000	0.054	1.204	0.372	6.3	2350+
	2050	6.920	0.000	7.877	8.212	0.000	0.000	1.080	0.000	0.000	0.000	0.054	24.143	5.910		
150 Countries	2023	944.7	74.2	578.6	832.0	6.9	15.0	1,262	0.0	0.5	107.7	490.9	4,312.5	1,274.2	11.4	
	2024	1,054.3	79.4	759.9	1,112.8	6.9	15.4	1,277	0.0	0.5	107.7	490.9	4,904.6	1,414.3	12.6	2094
	2025	1,132.0	100.9	910.2	1,339.4	6.9	15.4	1,286	0.0	0.5	107.7	490.9	5,390.1	1,530.6	13.7	2108
	2050	10,446.0	3,783.5	9,719.5	19,003.0	5.3	193.7	1,262	21.5	7.5	107.7	490.9	45,040.4	11,202.5		

Nameplate capacities for 2023 and 2024 are from Refs. 15 and 16. Nameplate capacities for 2025 for China are from Ref. 17; those for India are from Ref. 18; and those for the U.S. are from Refs. 19 and 20, each extrapolated linearly from 10, 9, or 7 months, respectively, of 2025 to all of 2025. 2050 nameplate capacities required for each country to meet 100% of all-sector energy demand while keeping the grid stable are from Ref. 14. Estimated outputs from the WWS generators in 2023, 2024, 2025, and 2050 are calculated by multiplying the nameplate capacities given by the capacity factors for each generator and world region the country resides in (Table S3) [14] and by the estimated 2050 transmission/distribution efficiency (98.5% for roof PV, 97% for solar thermal, and 92.5% for all other generators). Table S2 provides the countries in each grid region. The 2050 output, which is the output needed, when summed over all countries in a grid region, to keep the grid stable in the region, is the same as in Ref. 14 (e.g., columns f minus b of Table S18a of that paper). The 2050 outputs needed in each country for keeping the grid stable are, on average ~25% greater than the annual-average end-use power demand in the country, which are provided in Table S4a of Ref. 14. The year by which each country can reach 100% WWS is calculated as the year 2024 or 2025 plus the difference of 100% and the percent WWS already achieved in either 2024 or 2025, from column (n), all divided by the 2023-to-2024 (for 2024 numbers) or 2024-to-2025 (for 2025 numbers) growth rates of WWS output from column (n). If the growth rate is less than or equal to zero or results in a project transition year greater than 2350, the year 2350+ is used. The 2025 values for the 150-country totals include additions from only China, India, and the U.S.

Table S2. The 29 world grid regions and the 150 countries within those regions treated in the grid stability study in Ref. 14.

Region	Country or Countries Within Each Region
Africa-East (8)	Eritrea, Ethiopia, Kenya, Rwanda, South Sudan, Sudan, Tanzania, Uganda
Africa-North (6)	Algeria, Egypt, Libya, Morocco, Niger, Tunisia
Africa-South (8)	Angola, Botswana, Eswatini, Mozambique, Namibia, South Africa, Zambia, Zimbabwe
Africa-West (11)	Benin, Cameroon, Congo, Democratic Republic of the Congo, Côte d'Ivoire, Equatorial Guinea, Gabon, Ghana, Nigeria, Senegal, Togo
Australia (1)	Australia
Canada (1)	Canada
Central America (7)	Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexico, Nicaragua, Panama
Central Asia (6)	Kazakhstan, Kyrgyz Republic, Pakistan, Tajikistan, Turkmenistan, Uzbekistan
China region (4)	China, Hong Kong, Democratic People's Republic of Korea, Mongolia
Cuba (1)	Cuba
Europe (40)	Albania, Austria, Belarus, Belgium, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Gibraltar, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Kosovo, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Macedonia, Malta, Moldova Republic, Montenegro, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Ukraine, United Kingdom
Haiti region (2)	Dominican Republic, Haiti
Iceland (1)	Iceland
India region (4)	Bangladesh, India, Nepal, Sri Lanka
Israel (1)	Israel
Jamaica (1)	Jamaica
Japan (1)	Japan
Madagascar (1)	Madagascar
Mauritius (1)	Mauritius
Mideast (15)	Armenia, Azerbaijan, Bahrain, Iran, Iraq, Jordan, Kuwait, Lebanon, Oman, Qatar, Saudi Arabia, Syrian Arab Republic, Türkiye, United Arab Emirates, Yemen
New Zealand (1)	New Zealand
Philippines (1)	Philippines
Russia region (2)	Georgia, Russia
South America-NW (9)	Bolivia, Colombia, Curacao, Ecuador, Guyana, Peru, Suriname, Trinidad and Tobago, Venezuela
South America-SE (5)	Argentina, Brazil, Chile, Paraguay, Uruguay
Southeast Asia (9)	Brunei Darussalam, Cambodia, Indonesia, Lao PDR, Malaysia, Myanmar, Singapore, Thailand, Vietnam
South Korea (1)	Korea, Republic of
Taiwan (1)	Taiwan
United States (1)	United States

Numbers in parentheses are the number of countries in each region.

Table S3. Simulation-averaged 2050-2052 capacity factors (percentage of nameplate capacity produced as electricity before transmission, distribution, maintenance, storage, or curtailment losses) by region.

Region	Onshore wind	Off-shore wind	Roof PV	Utility PV	CSP with storage	Geo-thermal elec,	Hydro	Wave	Tidal	Solar heat	Geo-thermal heat
Africa-East	0.343	0.383	0.193	0.212	0	0.672	0.335	0.127	0.225	0	0.54
Africa-North	0.526	0.446	0.213	0.246	0	0.865	0.36	0.149	0.222	0.113	0.54
Africa-South	0.346	0.503	0.203	0.232	0.821	0.835	0.352	0.324	0.236	0.113	0.54
Africa-West	0.185	0.224	0.17	0.177	0.544	0	0.332	0.124	0.217	0.098	0.54
Australia	0.391	0.505	0.185	0.238	0	0.904	0.475	0.332	0.247	0.102	0.54
Canada	0.485	0.555	0.167	0.184	0	0.862	0.318	0.297	0.235	0.091	0.54
Central America	0.251	0.328	0.21	0.241	0	0.528	0.388	0.127	0.225	0.116	0.54
Central Asia	0.501	0.49	0.184	0.214	0.803	0	0.324	0.121	0.216	0	0.54
China region	0.439	0.437	0.185	0.217	0.735	0.896	0.496	0.139	0.244	0.102	0.54
Cuba	0.293	0.359	0.216	0.25	0	0	0.397	0.374	0.229	0	0
Europe	0.443	0.562	0.161	0.183	0.776	0.58	0.425	0.192	0.24	0.088	0.54
Haiti region	0.337	0.477	0.222	0.251	0	0.532	0.404	0	0.231	0	0
Iceland	0.493	0	0	0	0	0.925	0.559	0	0.26	0	0.54
India region	0.321	0.394	0.187	0.225	0.794	0.857	0.445	0.133	0.233	0.105	0.54
Israel	0.387	0.343	0.218	0.252	0.914	0	0.504	0	0.252	0.121	0.54
Jamaica	0.299	0.489	0.228	0.263	0	0	0.36	0	0.203	0	0
Japan	0.378	0.468	0.161	0.183	0	0.909	0.478	0.141	0.249	0.088	0.54
Madagascar	0.242	0.381	0.198	0.229	0	0	0.376	0.147	0.252	0	0.541
Mauritius	0.499	0.531	0.201	0.224	0	0	0.484	0.337	0.265	0.112	0
Mideast	0.471	0.417	0.203	0.226	0.809	0.798	0.453	0.136	0.235	0.108	0.54
New Zealand	0.483	0.562	0.173	0.199	0	0.885	0.466	0.355	0.243	0.095	0.54
Philippines	0.28	0.385	0.219	0.247	0	0.858	0.451	0.133	0.234	0	0.54
Russia region	0.48	0.603	0.151	0.185	0	0.863	0.344	0.256	0.236	0.083	0.54
South Am-NW	0.132	0.412	0.201	0.226	0.814	0.571	0.471	0.166	0.232	0	0.54
South Am-SE	0.188	0.444	0.205	0.224	0.788	0.872	0.458	0.148	0.238	0.114	0.54
Southeast Asia	0.11	0.22	0.187	0.203	0	0.878	0.432	0.18	0.234	0.109	0.54
South Korea	0.325	0.464	0.161	0.165	0	0	0.485	0	0.251	0.088	0.54
Taiwan	0.287	0.389	0.183	0.203	0	0.269	0.489	0.144	0.255	0.101	0.54
United States	0.371	0.307	0.192	0.212	0.849	0.891	0.275	0.294	0.244	0.102	0.54
Average	0.381	0.366	0.187	0.212	0.782	0.61	0.43	0.162	0.239	0.102	0.54

Data from Ref. 14. Capacity factors of offshore and onshore wind turbines account for array losses (extraction of kinetic energy by turbines). Capacity factors are determined before transmission, distribution, maintenance, storage, or curtailment losses. A zero indicates no installation of the technology. Roof PV panels are fixed-tilt at the optimal tilt angle of the country they reside in; utility PV panels are half fixed optimal tilt and half single-axis horizontal tracking.

Supplementary Figure

Figure S1. Comparison, for selected countries, of estimated 2050 WWS nameplate capacities needed to power 100% of all-sector energy demand with WWS after electrification of all energy sectors, and accounting for grid stability, with actual WWS nameplate capacities installed in 2023, 2024, and (for China, the U.S., and India) 2025. Data from Table S1.







