

WEGE ZU EINEM KLIMANEUTRALEN ENERGIESYSEM

Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen

Anhang zur Studie

Philip Sterchele, Julian Brandes, Judith Heilig, Daniel Wrede, Christoph Kost, Thomas Schlegl, Andreas Bett, Hans-Martin Henning

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

Anhang	

Link zur Studie: www.ise.fraunhofer.de/klimaneutrales-energiesystem.pdf Schaubilder der Studie und weitere Daten finden sich auch auf www.energy-charts.de.

1.1 Modelldaten und Kosten

Tabelle 1 - Stromerzeuger

Komponente	Größe	Einheit	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wind Offshore	Investition	€/kW _{el}	3512	3210	2937	2697	2493	2337	2251
	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
	Potenzial	GW	0.66	0.66	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Wind Onshore	Investition	€/kW _{el}	1493	1411	1366	1345	1337	1335	1335
	Lebensdauer	а	24	24	25	25	25	26	26
	Potenzial	GW	5.52	5.52	5.52	5.52	5.52	5.52	5.52
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Photovoltaik Dach	Investition	€/kW _{el}	976	828	718	643	597	576	571
Süd	Lebensdauer	а	26	26	27	27	28	28	29
	Potenzial	GW	1.90	4.00	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Photovoltaik Dach	Investition	€/kW _{el}	976	828	718	643	597	576	571
Ost-West	Lebensdauer	а	26	26	27	27	28	28	29
	Potenzial	GW	2.30	4.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Photovoltaik	Investition	€/kW _{el}	648	600	550	505	463	425	390
Freifläche Süd	Lebensdauer	а	26	26	27	27	28	28	29
	Potenzial	GW	1.00	3.40	4.35	4.35	5.35	5.35	5.35
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
GuD-Kraftwerke	Investition	€/kW _{el}	700	700	700	700	700	700	700
	Lebensdauer	а	40	40	40	40	40	40	40
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Wirkungsgrad	%	56.0	57.0	59.0	60.0	61.0	62.0	63.0
Gasturbine	Investition	€/kW _{el}	385	385	385	385	385	385	385
	Lebensdauer	а	40	40	40	40	40	40	40
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad	%	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
Braunkohle-	Investition	€/kW _{el}	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
kraftwerk	Lebensdauer	a	45	45	45	45	45	45	45
	M/O-Kosten	% Invest	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	Wirkungsgrad	%	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	42.0
Steinkohle-	Investition	€/kW _{el}	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

kraftwerk	Lebensdauer	а	45	45	45	45	45	45	45
	M/O-Kosten	% Invest	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	Wirkungsgrad	%	41.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
H ₂ -Rückver-	Investition	€/kW _{el}	500	451	419	399	389	386	385
stromung	Lebensdauer	a	40	40	40	40	40	40	40
(Gasturbine)	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad	%	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0

Tabelle 2 - Energiewandler & Speicher

Komponente	Größe	Einheit	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wärmenetze	Investition	€/kW _{th}	400	400	400	400	400	400	400
	Lebensdauer	a	40	40	40	40	40	40	40
	M/O-Kosten	% Invest	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Gasnet z	Investition	€/kW Gas	28	28	28	28	28	28	28
	Lebensdauer	a	30	30	30	30	30	30	30
	M/O-Kosten	% Invest	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Anbindung -	Investition	€/kW _{Wind_off}	430	430	430	430	430	430	430
Offshore Seekabel	Lebensdauer	a	40	40	40	40	40	40	40
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
HGÜ (Nord-Süd-	Investition	€/kW _{Wind_off}	200	200	200	200	200	200	200
Anbindung)	Lebensdauer	a	40	40	40	40	40	40	40
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Mittelspannung	Investition	€/kW _{Wind_on}	180	180	180	180	180	180	180
(Onshore Ausbau)	Lebensdauer	a	40	40	40	40	40	40	40
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Verteilnetz (PV-	Investition	€/kW _{PV}	140	140	140	140	140	140	140
Ausbau)	Lebensdauer	a	40	40	40	40	40	40	40
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Elektrolyse (MIX	Investition	€/kW el	738	676	613	584	554	525	495
PEM/AEL/HTEL)	Lebensdauer	a	26	26	25	26	28	29	30
	M/O-Kosten	% Invest	3.5	3.4	3.3	3.5	3.6	3.8	3.9
	Wirkungsgrad	%	64.5	64.8	65.1	66.4	67.6	68.9	70.2
Stationäre Batterien	Investition	€/kWh _{el}	400	275	150	138	125	113	100
	Lebensdauer	a	10	10	15	15	15	15	15
	M/O-Kosten	% Invest	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Wirkungsgrad	%	85.8	86.5	87.2	87.8	88.5	89.2	90.0
Wasserstoffspeicher	Investition	€/kW _{H2}	163	163	163	163	163	163	163
& -verdichter	Lebensdauer	a	30	30	30	30	30	30	30

	M/O-Kosten	% Invest	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	Wirkungsgrad	%	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0
Methanisierung	Investition	€/kW _{el}	1914	1494	1074	1040	1006	1000	995
(inkl. Elektrolyse und	Lebensdauer	a	21	23	24	26	27	29	30
CO2-Abtrennung aus der Luft)	M/O-Kosten	% Invest	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
, and and	Wirkungsgrad Elyse	<mark>%</mark>	57.1	59.3	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5
	Wirkungsgrad Sabatier	<mark>%</mark>	74.3	74.3	74.3	74.3	74.3	74.3	74.3
Erdgas-Dampf-	Investition	€/kW _{Gas}	995	995	995	995	995	995	995
Reformierung	Lebensdauer	а	15	15	15	15	15	15	15
	M/O-Kosten	% Invest	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	Wirkungsgrad	%	69.4	69.4	69.4	69.4	69.4	69.4	69.4
Power-to-Methanol-	Investition	€/kW _{el}	1814	1394	974	940	906	900	895
to-Gasoline (inkl.	Lebensdauer	а	21	23	24	26	27	29	30
CO2-Abtrennung aus der Luft)	M/O-Kosten	% Invest	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
ac. zarty	Wirkungsgrad	%	43.3	44.9	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6

Tabelle 3 - Heizungstechnologien - Wärmenetze

Komponente	Größe	Einheit	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wärmenetze:	Investition	€/kW _{th}	3775	3584	3392	3221	3049	2895	2740
Geothermie-Direktwärme	Lebensdauer	a	30	30	35	35	40	40	50
(Tiefe>1000m, keine Stromerzeugung)	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Wärmenetze: GuD mit	Investition	€/kW _{el}	791	768	753	743	738	737	736
Wärmeauskopplung > 10 MW	Lebensdauer	a	30	30	30	30	30	30	30
IVIVV	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Wirkungsgrad el.	%	56.0	58.0	59.0	60.0	61.0	62.0	63.0
	Wirkungsgrad th.	%	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Wärmenetze: (Groß-)	Investition	€/kW _{th}	400	375	350	325	300	275	250
Wärmepumpen (Wasser-	Lebensdauer	a	25	25	25	25	25	25	25
Wasser)	M/O-Kosten	% Invest	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Wärmenetze:	Investition	€/m²	290	260	230	215	200	195	190
Solarthermie	Lebensdauer	a	30	30	30	30	30	30	30
(Freiflächenanlagen)	M/O-Kosten	% Invest	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Wärmenetze:	Investition	€/m³	139	129	119	110	100	90	80
Wärmespeicher (Wasser	Lebensdauer	а	40	40	40	40	40	40	40
ca. 50 m³)	M/O-Kosten	% Invest	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabelle 4 - Heizungstechnologien - Einzelgebäude

Komponente	Größe	Einheit	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Ölkessel	Investition	€/kW _{th}	136	136	136	136	136	136	136
	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad NT	%	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0
	Wirkungsgrad HT	%	89.0	89.0	89.0	89.0	89.0	89.0	89.0
Gaskessel	Investition	€/kW _{th}	97	97	97	97	97	97	97
	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad NT	%	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0
	Wirkungsgrad HT	%	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0
Biomassekessel/Holzkessel	Investition	€/kW _{th}	251	243	236	228	221	214	206
	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	Wirkungsgrad NT	%	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0
	Wirkungsgrad HT	%	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0
Gaswärmepumpe HT/NT	Investition	€/kW _{th}	1100	1100	1100	1000	1000	900	900
	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	4.0	4.0
Elektrische Wärmepumpe	Investition	€/kW _{th}	1656	1574	1493	1409	1325	1244	1162
(Wärmequelle: Erdreich)	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
NT	M/O-Kosten	% Invest	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Elektrische Wärmepumpe	Investition	€/kW _{th}	900	857	815	770	725	683	640
(Wärmequelle: Außenluft)	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
NT	M/O-Kosten	% Invest	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Hybride Wärmepumpe (el.	Investition	€/kW _{th}	997	954	912	867	822	780	737
WP und Gaskessel,	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
Außenluft) NT	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
BHKW Einzelgebäude <100	Investition	€/kW _{el}	1614	1534	1480	1448	1431	1425	1424
kW _{el} NT/HT	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Wirkungsgrad el.	%	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
	Wirkungsgrad th.	%	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
H ₂ -Brennstoffzelle für	Investition	€/kW _{el}	8285	3903	2072	1455	1308	1289	1289
Strom&Wärme im	Lebensdauer	a	15	20	20	20	20	20	20
Einzelgebäude <100 kWel	M/O-Kosten	% Invest	3.6	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
NT	Wirkungsgrad el.	%	62.9	63.4	63.9	64.4	64.9	65.4	65.9
	Wirkungsgrad th.	%	27.9	28.1	28.3	28.5	28.7	28.9	29.1

.....

	1	1			ı — —	ı — —	ı — —	ı — —	,
CH ₄ -Brennstoffzelle NT	Investition	€/kW _{el}	9113	4293	2280	1600	1438	1418	1418
	Lebensdauer	а	15	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	3.6	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
	Wirkungsgrad el.	%	53.5	53.9	54.3	54.8	55.2	55.6	56.0
	Wirkungsgrad th.	%	33.0	33.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
Elektrische Wärmepumpe	Investition	€/kW _{th}	1822	1732	1642	1550	1458	1368	1278
(Wärmequelle: Erdreich)	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
НТ	M/O-Kosten	% Invest	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Elektrische Wärmepumpe	Investition	€/kW _{th}	990	943	897	847	798	751	704
(Wärmequelle: Außenluft)	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
НТ	M/O-Kosten	% Invest	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Hybride Wärmepumpe (el.	Investition	€/kW _{th}	1097	1049	1003	954	904	858	811
WP und Gaskessel,	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
Außenluft) HT	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
H ₂ -Brennstoffzelle für	Investition	€/kW _{el}	8285	3903	2072	1455	1308	1289	1289
Strom&Wärme im	Lebensdauer	a	10	10	10	10	10	10	10
Einzelgebäude <100 kW _{el}	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Wirkungsgrad el.	%	55.1	56.9	58.7	60.5	62.3	64.1	65.9
	Wirkungsgrad th.	%	39.9	38.1	36.3	34.5	32.7	30.9	29.1
CH ₄ -Brennstoffzelle HT	Investition	€/kW _{el}	7826	3724	2071	1543	1429	1418	1418
	Lebensdauer	a	17	20	20	20	20	20	10
	M/O-Kosten	% Invest	3.5	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.0
	Wirkungsgrad el.	%	46.8	48.4	49.9	51.4	52.9	54.5	56.0
	Wirkungsgrad th.	%	39.0	38.2	37.3	36.5	35.7	34.8	34.0
Solarthermiekollektoren	Investition	€/m²	550	475	400	375	350	330	310
(Aufdachanlagen) NT/HT	Lebensdauer	a	25	25	25	25	25	25	25
	M/O-Kosten	% Invest	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Wärmespeicher (Wasser) -	Investition	€/I	1	1	1	1	1	1	1
in Einzelgebäuden	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Gebäudesanierung	Investition	€/m²	102	102	102	102	102	102	102
EnEV2015 -25%	Lebensdauer	a	50	50	50	50	50	50	50
(Bezeichnung: "vollsaniert")	M/O-Kosten	% Invest	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Gebäudesanierung	Investition	€/m²	180	180	180	180	180	180	180
"Passivhaus"	Lebensdauer	a	50	50	50	50	50	50	50
(Bezeichnung:	M/O-Kosten	% Invest	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
"vollsaniert+") Absenkung der		€/m²			60		60		
Vorlauftemperatur in	Investition Lebensdauer		60 50	60 50		60	50	60 50	6050
Wohngebäuden (z.B. durch		a O/ Invest		50	50	50		50	
Fußbodenheizung)	M/O-Kosten	% Invest	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Tabelle 5 - Biomasse-Wandler

Komponente	Größe	Einheit	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Holz- und holzartige	Investition	€/kW _{th}	2561	2198	1955	1808	1732	1704	1700
Biomasse zu CH ₄	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
(Vergasung mit anschl. Synthetisierung)	M/O-Kosten	% Invest	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Synthetisierung/	Wirkungsgrad	%	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
Holz- und holzartige	Investition	€/kW _{th}	1874	1609	1431	1323	1267	1247	1244
Biomasse zu H ₂ (Vergasung	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
mit anschl. Synthetisierung)	M/O-Kosten	% Invest	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
synthetisierung/	Wirkungsgrad	%	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0
Holz- und holzartige	Investition	€/kW _{th}	2835	2434	2164	2001	1917	1886	1882
Biomasse zu flüssigen	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
Kraftstoffen (Vergasung mit anschl.	M/O-Kosten	% Invest	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Synthetisierung)	Wirkungsgrad	%	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
Biodieselanlage (Raps zu	Investition	€/kW _{th}	150	150	150	150	150	150	150
Biodiesel)	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	Wirkungsgrad (Feld zu Fuel)	%	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Biogasanlage (Rohstoff	Investition	€/kW _{Biogas}	965	852	776	731	707	698	697
Biogas - ohne BHKW)*	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Biogas Aufbereitung (CO ₂ -	Investition	€/kWh Gas	538.5	412.7	328.4	277.3	251.1	241.4	240.0
Abscheidung -> Bio-Erdgas)	Lebensdauer	a	25	25	25	25	25	25	25
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Wirkungsgrad	%	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0
BHKW < 0.5 MW (Biogas-	Investition	€/kW _{el}	556	541	528	517	509	503	500
Direktverstromung)	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	Wirkungsgrad	%	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0

Wirkungsgrad | % | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 2 wirkungsgrad | % | 2 wi

	•	•	•	•••	•	•	•	•••	•	•••	•	•	•	•	•••	•	•••	•	•	•	٠	•	٠	•	•	•	•	•	•	•••	۰	•	•	•	•	•	•	•	•	•••	•	۰
А	r	1	r	ì	3	n	ĺ	J																																		

Tabelle 6 - Antriebskonzepte Verkehr - PKW

Komponente	Größe	Einheit	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PKW ICE-	Investition	€/PKW	23561	24309	24999	25622	26167	26610	26880
Flüssigtreibstoff	Lebensdauer	a	15	15	15	15	15	15	15
	M/O-Kosten	% Invest	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	Wirkungsgrad*	%	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
PKW ICE Gas	Investition	€/PKW	25041	25468	25912	26377	26864	27383	27952
	Lebensdauer	a	15	15	15	15	15	15	15
	M/O-Kosten	% Invest	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
	Wirkungsgrad*	%	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
PKW H ₂ -	Investition	€/PKW	55000	43500	33226	30720	29440	28160	26880
Brennstoffzelle	Lebensdauer	a	15	15	15	15	15	15	15
	M/O-Kosten	% Invest	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
	Wirkungsgrad*	%	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
PKW Hybrid H ₂ -	Investition	€/PKW	49375	42760	35000	33130	31260	30462	29665
Brennstoffzelle /	Lebensdauer	a	15	15	15	15	15	15	15
Batterie	M/O-Kosten	% Invest	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
	Wirkungsgrad*	%	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0
	Anteil Batterie Fahrleistung	%	40	40	40	40	40	40	40
	Batteriekapazität	kWh	12.5	20	20	20	20	20	20
	Wirkungsgrad Batterie*	%	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1
PKW Hybrid ICE	Investition	€/PKW	31832	31651	30350	30198	30046	30499	30952
Flüssigtreibstoff /	Lebensdauer	a	15	15	15	15	15	15	15
Batterie	M/O-Kosten	% Invest	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	Wirkungsgrad*	%	27.4	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8
	Anteil Batterie Fahrleistung	%	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
	Batteriekapazität	kWh	12.5	20	20	20	20	20	20
	Wirkungsgrad Batterie*	%	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1
PKW Hybrid ICE Gas	Investition	€/PKW	34129	33982	32690	32527	32364	32808	33252
/ Batterie	Lebensdauer	a	15	15	15	15	15	15	15
	M/O-Kosten	% Invest	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	Wirkungsgrad*	%	24.3	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6
	Anteil Batterie Fahrleistung	-	40	40	40	40	40	40	40
	Batteriekapazität	kWh	14	20	20	20	20	20	20
	Wirkungsgrad Batterie*	%	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1

PKW Batterie-	Investition	€/PKW	33000	28812	24624	24358	24092	23827	23561
Elektromotor	Lebensdauer	a	15	15	15	15	15	15	15
	M/O-Kosten	% Invest	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	Wirkungsgrad*	%	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0
	Anteil Batterie Fahrleistung	-	100	100	100	100	100	100	100
	Batteriekapazität	kWh	50	66.65	66.65	66.65	66.65	66.65	66.65
	Wirkungsgrad Batterie*	%	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1

^{*}Wirkungsgrad: Umrechnung von verwendetem Energieträger in Bewegungsenergie des Fahrzeuges

•	• •	••	•		•••	۰	•	•	۰	•	۱	•	•		۰	۰	•	۰	•	۰	•	•	۰	•		۰	•	۰	•	۰		۰	•	۰	•	•	۱	۰	•	•	•	•	•	•	۰	•	۰	•	•	۰	•	•	۰	•	•	۰	•	•	•	•	•	۰	
Α	۱	Π	ıŀ	7	lá	Э		r	1	1	(J																																																			

Tabelle 7 – Antriebskonzepte Verkehr – LKW

Komponente	Größe	Einheit	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
LKW ICE-	Investition	€/LKW	99772	102543	105315	108086	110858	113629	116401
Flüssigtreibstoff	Lebensdauer	a	15	15	15	15	15	15	15
	M/O-Kosten	% Invest	18.0	17.5	17.1	16.6	16.2	15.8	15.5
	Wirkungsgrad*	%	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3
LKW ICE Gas	Investition	€/LKW	107771	109476	111301	113260	115367	117652	120183
	Lebensdauer	а	15	15	15	15	15	15	15
	M/O-Kosten	% Invest	16.7	16.4	16.2	15.9	15.6	15.3	15.0
	Wirkungsgrad*	%	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1
LKW H ₂ -	Investition	€/LKW	151574	122291	116497	117600	120177	122939	125710
Brennstoffzelle	Lebensdauer	а	15	15	15	15	15	15	15
	M/O-Kosten	% Invest	10.1	12.5	13.1	13.0	12.7	12.4	12.2
	Wirkungsgrad*	%	56	56	56	56	56	56	56
LKW Hybrid H ₂ -	Investition	€/LKW	165674	132399	124847	126262	127677	129994	132310
Brennstoffzelle /	Lebensdauer	а	15	15	15	15	15	15	15
Batterie	M/O-Kosten	% Invest	9.2	11.5	12.2	12.1	12.0	11.8	11.5
	Wirkungsgrad*	%	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0
	Anteil Batterie Fahrleistung	%	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	Batteriekapazität	kWh	50	50	50	50	50	50	50
	Wirkungsgrad Batterie*	%	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1
LKW Hybrid ICE	Investition	€/LKW	124728	121279	119580	119395	120463	122492	125123
Flüssigtreibstoff /	Lebensdauer	а	15	15	15	15	15	15	15
Batterie	M/O-Kosten	% Invest	14.4	14.8	15.0	15.1	14.9	14.7	14.4
	Wirkungsgrad*	%	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3
	Anteil Batterie Fahrleistung	%	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	Batteriekapazität	kWh	50	50	50	50	50	50	50
	Wirkungsgrad Batterie*	%	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1
LKW Hybrid ICE	Investition	€/LKW	133788	130476	128831	128645	129684	131682	134301
Gas/Batterie	Lebensdauer	a	15	15	15	15	15	15	15
	M/O-Kosten	% Invest	13.4	13.8	14.0	14.0	13.9	13.7	13.4
	Wirkungsgrad*	%	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1
	Anteil Batterie Fahrleistung	%	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	Batteriekapazität	kWh	50	50	50	50	50	50	50
	Wirkungsgrad Batterie*	%	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1	74.1

LKW Batterie-	Investition	€/LKW	204067	165765	136400	134700	133000	131200	129400
Elektromotor	Lebensdauer	a	15	15	15	15	15	15	15
	M/O-Kosten	% Invest	14.0	14.0	15.0	16.0	16.0	16.0	16.0
	Wirkungsgrad*	%	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0
	Anteil Batterie Fahrleistung	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Batteriekapazität	kWh	200	200	200	200	200	200	200
	Wirkungsgrad Batterie*	%	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0

^{*}Wirkungsgrad: Umrechnung von verwendetem Energieträger zu Bewegungsenergie des Fahrzeuges.

Tabelle 8 – Ladeinfrastruktur PKW & LKW

Komponente	Größe	Einheit	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Ladeinfrastruktur	Investition	€/Ladesäule	1283	1126	1005	1005	1005	1005	1005
langsam (reine)	Lebensdauer	a	30	30	30	30	30	30	30
Batteriefahrzeuge* PKW	M/O-Kosten	% Invest	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Ladeinfrastruktur	Investition	€/Ladesäule	629102	527507	448894	448894	448894	448894	448894
schnell (reine)	Lebensdauer	a	30	30	30	30	30	30	30
Batteriefahrzeuge* PKW	M/O-Kosten	% Invest	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Ladeinfrastruktur	Investition	€/Ladesäule	2243051	2000991	1787894	1788360	1788360	1788360	1788360
Brennstoffzellen	Lebensdauer	a	30	30	30	30	30	30	30
Fahrzeuge * PKW	M/O-Kosten	% Invest	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Ladeinfrastruktur	Investition	€/Ladesäule	429350	429350	429350	429350	429350	429350	429350
CNG Fahrzeuge *	Lebensdauer	а	30	30	30	30	30	30	30
PKW	M/O-Kosten	% Invest	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Ladeinfrastruktur	Investition	€/Ladesäule	0	93459	0	1451905	0	0	0
langsam (reine)	Lebensdauer	a	30	30	30	30	30	30	30
Batteriefahrzeuge* LKW	M/O-Kosten	% Invest	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Ladeinfrastruktur	Investition	€/Ladesäule	0	0	0	0	0	0	0
schnell (reine)	Lebensdauer	a	30	30	30	30	30	30	30
Batteriefahrzeuge* LKW	M/O-Kosten	% Invest	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Ladeinfrastruktur	Investition	€/Ladesäule	2243051	2000991	1787894	1787894	1787894	1787894	1787894
Brennstoffzellen	Lebensdauer	а	30	30	30	30	30	30	30
Fahrzeuge * LKW	M/O-Kosten	% Invest	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Ladeinfrastruktur	Investition	€/Ladesäule	1708860	1584483	1469159	1469159	1469159	1469159	1469159
CNG Fahrzeuge*	Lebensdauer	a	30	30	30	30	30	30	30
LKW	M/O-Kosten	% Invest	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

^{*}Annahme Ladeinfrastrukur: keine Mehrkosten für hybride Konzepte

Anhang		

Tabelle 9 - Industrie (Prozesswärmeerzeugung) Niedertemperatur (NT)

Komponente	Größe	Einheit	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Biomassekessel	Investition	€/kW _{th}	251	243	236	228	221	214	206
Industrie NT	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Wirkungsgrad	%	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Solarthermische	Kosten	€/MWh _{th}	89	82	75	69	63	58	54
Wärme für									
Industrieprozesse NT	Investition	€/kWth	400	375	350	325	300	275	250
(Groß-) Wärmepumpen (Sole-Wasser) NT							<u> </u>		<u> </u>
(Sole trassely it	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Ölkessel Industrie NT	Investition	€/kW _{th}	136	136	136	136	136	136	136
	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad	%	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0
Gaskessel Industrie NT	Investition	€/kW _{th}	97	97	97	97	97	97	97
	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad	%	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0
Elektrodenkessel NT	Investition	€/kWel	136	136	136	136	136	136	136
	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad	%	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0
BHKW > 1 MW _{el} NT	Investition	€/kW _{el}	650	650	650	650	650	650	650
	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Wirkungsgrad el.	%	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
	Wirkungsgrad th.	%	45	45	45	45	45	45	45
H₂-Kessel NT	Investition	€/kW _{th}	136	136	136	136	136	136	136
	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad	%	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0
Kohlekessel Industrie	Investition	€/kW _{th}	251	243	236	228	221	214	206
NT	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad	%	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0

Tabelle 10 - Industrie (Prozesswärmeerzeugung) Hochtemperatur (HT)

Komponente	Größe	Einheit	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Biomassekessel	Investition	€/kW _{th}	251	243	236	228	221	214	206
Industrie HT	Lebensdauer	а	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Wirkungsgrad	%	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Solarthermische Wärme	Kosten	€/kWh _{th}	0.21	0.16	0.13	0.11	0.10	0.10	0.10
für Industrieprozesse HT									
(Groß-) Wärmepumpen	Investition	€/kW _{th}	692	657	638	629	625	625	625
(Sole-Wasser) HT	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Ölkessel Industrie HT	Investition	€/kW _{th}	136	136	136	136	136	136	136
	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad	%	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0
Gaskessel Industrie HT	Investition	€/kW _{th}	97	97	97	97	97	97	97
	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad	%	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0
Elektrodenkessel HT	Investition	€/kW _{el}	136	136	136	136	136	136	136
	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad	%	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0
GuD-KWK > 1 MW _{el} HT	Investition	€/kW _{el}	650	650	650	650	650	650	650
	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Wirkungsgrad el.	%	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
	Wirkungsgrad th.	%	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
H ₂ -Kessel HT	Investition	€/kW _{th}	136	136	136	136	136	136	136
	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad	%	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0
Kohlekessel Industrie	Investition	€/kW _{th}	251	243	236	228	221	214	206
НТ	Lebensdauer	a	20	20	20	20	20	20	20
	M/O-Kosten	% Invest	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Wirkungsgrad	%	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0

•						• •		•		•	•	•	 •	 	 	••				••		-	••	
Д	n	ıŀ	16	al	n	ç	J																	

Tabelle 11 – Energiepreise in €/MWh

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Erdgas	23	23	23	23	23	23	23
Öl/Treibstoff	51	51	51	51	51	51	51
Steinkohle	13	13	13	13	13	13	13
Braunkohle	2	2	2	2	2	2	2
Strom aus AKW	30	30	30	30	30	30	30
Solare Prozesswärme	89	82	75	69	63	58	54
Biomasse (Holz/Stroh)	30	30	30	30	30	30	30
Biomasse Anbau	50	50	50	50	50	50	50
Biomasse (feucht)	1	1	1	1	1	1	1
H ₂ -Import	275	242	213	187	164	145	127
CH ₄ -Import	423	373	328	289	254	224	197
Fuel-Import	498	441	390	346	306	271	240