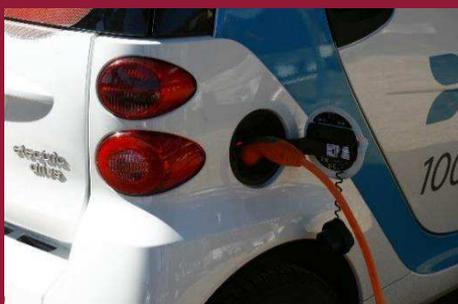
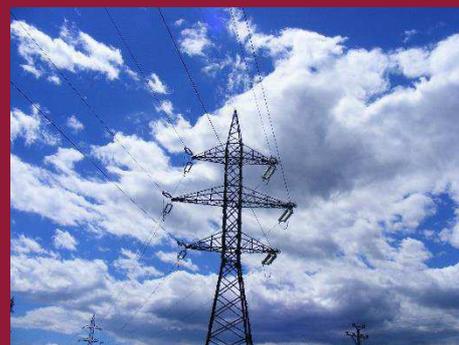
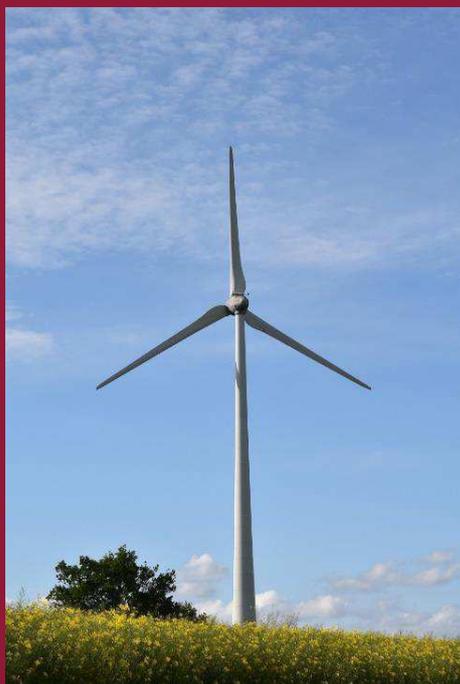




Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
KLIMASCHUTZ, UMWELT,
ENERGIE UND MOBILITÄT

14. ENERGIEBERICHT RHEINLAND-PFALZ





14. ENERGIEBERICHT RHEINLAND-PFALZ

BERICHTSZEITRAUM DER
BILANZEN:

2018 - 2019

IMPRESSUM

Herausgeber:	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Kaiser-Friedrich-Str. 1 55116 Mainz
	E-Mail: poststelle@mkuem.rlp.de Internet: http://www.mkuem.rlp.de Telefon: +49 6131 16 - 0 Telefax: +49 6131 16 - 4646
	Datenstand der amtlichen Statistiken überwiegend bis Dezember 2019, ansonsten ggf. bis Mitte 2021 Textbeiträge bis einschließlich Dezember 2021
Entwurf, Gestaltung, Satz:	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Abteilung 8 Herr Dr. Stefan Laibach, Herr Ulrich Gallent
Textbeiträge:	Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Ministerium des Innern und für Sport Ministerium für Wissenschaft und Gesundheit Ministerium der Finanzen Ministerium für Bildung Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz
Statistische Daten und Auswertung:	Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz Mainzer Str. 14 - 16 56130 Bad Ems Kapitel 4 und 5, Berechnungsstand der Landesdaten: Juni/Juli 2021
Bildernachweis Titelseite:	pixabay

Eine kostenlose pdf-Version dieser Ausgabe finden Sie zum Download auf den Internetseiten des Ministeriums unter www.mkuem.rlp.de.

© Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität
Rheinland-Pfalz
Mainz, 2022

Für nicht gewerbliche Zwecke sind Vervielfältigung und unentgeltliche Verbreitung, auch auszugsweise, mit Quellenangabe gestattet. Die Verbreitung, auch auszugsweise, über elektronische Systeme/Datenträger bedarf der vorherigen Zustimmung. Alle übrigen Rechte bleiben vorbehalten.

Hinweis:

Der Energiebericht wird von der Landesregierung Rheinland-Pfalz im Rahmen ihres gesetzlichen Auftrages zur Unterrichtung der Öffentlichkeit herausgegeben. Laut Beschluss des rheinland-pfälzischen Landtags vom 27. März 1992 wird er im zweijährigen Turnus erstellt.

Er darf weder von Parteien noch Wahlbewerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen und Werbemittel.

Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Druckschrift dem Empfänger oder der Empfängerin zugegangen ist.

Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.



Der aggressive Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine hat uns die Abhängigkeit unserer Energieversorgung von Importen fossiler Energieträger aus politisch unberechenbaren Drittstaaten, aber auch von stark schwankenden Preisen einmal mehr klar vor Augen geführt. Eine sichere und klimaneutrale Energieversorgung zu planbaren und bezahlbaren Kosten können nur die Erneuerbaren Energien mittel- und langfristig sicherstellen. Klimaschutz und Energiewende stellen die notwendige Basis für eine nachhaltige Energieversorgung unserer Bürgerinnen und Bürger sowie für einen zukunftsfesten Wirtschaftsstandort Rheinland-Pfalz mit sicheren Arbeitsplätzen dar.

Die rheinland-pfälzische Landesregierung hat sich das ambitionierte klimaschutzpolitische Ziel gesetzt, landesweit eine vollständige Klimaneutralität in einem zeitlichen Korridor von 2035 bis 2040 zu erreichen. Damit möchten wir unseren substanziellen Beitrag zur Erfüllung des Pariser Klimaabkommens und zur Begrenzung der anthropogenen Erderwärmung auf 1,5 Grad im Vergleich zum vorindustriellen Niveau leisten.

Um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen und vor dem Hintergrund der aktuel-

len geopolitischen Lage legt das Land gemeinsam mit allen energiewirtschaftlichen Akteuren die energiepolitischen Schwerpunkte auf einen sparsamen und hocheffizienten Energieeinsatz sowie auf einen beschleunigten Ausbau der Erneuerbaren Energien in der Erzeugung von Strom und Wärme sowie im Mobilitätsbereich.

Die Landesregierung bekennt sich zu dem Ausbauziel, den Strombedarf des Landes bis zum Jahr 2030 bilanziell vollständig aus Erneuerbaren Energien zu decken. Dazu sind neben geeigneten gesetzlichen Rahmenbedingungen auf Bundesebene, insbesondere hier in unserem Land die aktive Unterstützung unserer energiewirtschaftlichen Akteure, Kommunen sowie unserer Bürgerinnen und Bürger erforderlich. Denn die Energiewende wird konkret vor Ort umgesetzt.

Das gilt umso mehr für das Erreichen unserer neuen energiepolitischen Zielstellung im Gebäudebereich, wo wir die energetische Sanierungsquote von heute 0,8% auf 3% bis 2030 erhöhen wollen, sowie bei der notwendigen Umsetzung der Verkehrswende im Pendlerland Rheinland-Pfalz.

Die energie- und klimaschutzpolitischen Zielstellungen der Landesregierung sind sicherlich ambitioniert, bauen aber auch auf

VORWORT

einem bereits erreichten guten Umsetzungsstand der Energiewende auf. So ist der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung im Land in 2019 auf ca. 51% gestiegen. Im Vergleich zum Jahr 1990 hat sich die regenerativ erzeugte Strommenge in 2019 sogar mehr als verzwölfacht. Einen wesentlichen Anteil daran hat insbesondere der Ausbau der Windenergie sowie der Fotovoltaik. Aber auch die Bioenergie und die Wasserkraft tragen verlässlich zur regenerativen Stromerzeugung bei.

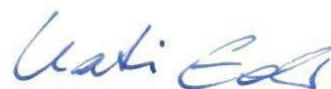
Der Wandel vom klassischen Stromimportland zu einem Stromerzeugungsland konnte weiter fortgesetzt werden. Der Anteil des Stromimports am Stromverbrauch verringerte sich von über 70% im Jahr 2000 insbesondere als Folge des Ausbaus der Erneuerbaren Energien auf nur noch ca. 25% in 2019. Damit konnte auch der Anteil regenerativer Quellen an der Deckung des Bruttostrombedarfs des Landes deutlich auf über 38% in 2019 gesteigert werden. Zum Vergleich: Im Jahr 2000 betrug der Anteil der Erneuerbaren am rheinland-pfälzischen Bruttostromverbrauch weniger als 5%.

Die Transformation unseres gesamten Energieversorgungssystems wird gemein-

sam von den verschiedenen Ressorts der rheinland-pfälzischen Landesregierung getragen und durch eine Vielzahl an Maßnahmen im Strom-, Wärme und Verkehrssektor umgesetzt, über die der 14. Energiebericht detailliert informiert.

Darüber hinaus wird die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende im Land durch zahlreiche Informations- und Erstberatungsangebote der Energieagentur Rheinland-Pfalz sowie der Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz für unsere Unternehmen, Kommunen und privaten Haushalte aktiv unterstützt.

Der vorliegende 14. Energiebericht gibt einen umfassenden Überblick über den erreichten Stand der Energiewende in Rheinland-Pfalz. Als aktueller Monitoringbericht zu Energie und Klimaschutz bildet er die notwendige fachliche Basis für die weitere Umsetzung der energetischen Transformation unseres Landes und für das Erreichen unserer ambitionierten Klimaschutzziele.



Katrin Eder
Staatsministerin für Klimaschutz, Umwelt,
Energie und Mobilität

FACTSHEET

1. Wesentliche Energiedaten für Rheinland-Pfalz für die Bilanzjahre 2018 und 2019¹:

Stromerzeugung und Anteile an Bruttostromerzeugung sowie -verbrauch:

Indikator	Strommenge		Anteil an der Bruttostromerzeugung		Anteil am Bruttostromverbrauch	
	[TWh]		[%]		[%]	
Jahr	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Bruttostromverbrauch	29,315	28,710				
Bruttostromerzeugung	20,023	21,441			68,3	74,7
aus EE-Anlagen	10,244	10,990	51,2	51,3	34,9	38,3
davon:						
Windenergie	6,192	6,865	30,9	32,0	21,1	23,9
Fotovoltaik	2,028	2,055	10,1	9,6	6,9	7,2
Wasserkraft	0,821	0,915	4,1	4,3	2,8	3,2
Biomasse	1,160	1,097	5,8	5,1	4,0	3,8
Sonstige EE	0,043	0,058	0,2	0,3	0,1	0,2
davon Geothermie	0,033	0,048	0,2	0,2	0,1	0,2
aus nicht-EE Anlagen	9,779	10,451	48,8	48,7	33,4	36,4
davon Erdgas	8,911	9,549	44,5	44,5	30,4	33,3
Kraft-Wärme-Kopplung (nur Nettostromerzeugung)	8,225	8,071	44,0	40,1	28,0	28,0
Kraft-Wärme-Kopplung (Nettostrom- und Nettowärmeerzeugung)	22,313	21,311				
Austauschsaldo (Import)	9,292	7,269			31,7	25,3
Primärenergieverbrauch	177,968	178,656				
davon aus EE	23,580	24,501				
Endenergieverbrauch	134,886	136,171				
davon aus EE	9,756	9,895				

¹ Angaben nach Statistischem Landesamt Rheinland-Pfalz, Energiebilanz 2018 und 2019 bzw. Statistische Berichte zur Stromeinspeisung in das Netz der allgemeinen Versorgung 2018 und 2019, s.a. <http://www.statistik.rlp.de/de/wirtschaftsbereiche/energie/publikationen/>

Anlagenanzahl und installierte Leistung:

Indikator	Anlagenanzahl		Installierte Leistung	
Einheit	[-]		[MW]	
Jahr	2018	2019	2018	2019
Windenergie ³	1.748	1.772	3.589	3.685
Fotovoltaik	101.223	106.536	2.168	2.302
Wasserkraft (Laufwasser)	209	242	239	239
Biomasse ²	369	383	173	178

2. Weitergehende Energiedaten³:

Indikator	Anlagenanzahl		Installierte Leistung	
Einheit	[-]		[MW]	
Jahr	2020	1. HJ 2021	2020	1. HJ 2021
Windenergie	1.791	1.794	3.757	3.789
Fotovoltaik	116.682	123.985	2.503	2.608
Wasserkraft	238	250	220	236
Biomasse	412	420	188	190

² Angaben gemäß Bundesnetzagentur, Energie in Zahlen 2020; s.a. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Zahlen-DatenInformationen/zahlenunddaten-node.html

³ Angaben gemäß Veröffentlichung der Deutschen WindGuard GmbH bzw. Bundesnetzagentur und eigener Berechnungen.

10 wesentliche Kernaussagen des 14. Energieberichts:

- Mit einem Anteil von 75% bezogen auf den Stromverbrauch des Landes (28,7 TWh) hat die rheinland-pfälzische **Stromerzeugung 2019** (21,4 TWh) einen neuen Rekordwert erreicht.
- Im Jahr 2019 wurde mit 51% (11 TWh) mehr als die Hälfte der im Land produzierten **Strommenge aus erneuerbaren Energieträgern** produziert (1990: 12%; 2000: 17%). Wesentlichen Anteil daran hatte mit 32% die Windenregie (6,9 TWh), gefolgt von Solarenergie (9,6% bzw. 2,1 TWh) und Biomasse / Wasserkraft, die zusammen einen Anteil von 9,4% hatten.
- In Rheinland-Pfalz lag die Netto-**Stromerzeugung aus KWK** 2019 bei 8,1 TWh.
- Der **Stromverbrauch** belief sich in Rheinland-Pfalz 2019 auf 28,7 TWh. In den letzten zehn Jahren veränderte sich der Stromverbrauch kaum und lag durchschnittlich bei 29 TWh. Der **Anteil der erneuerbaren Energieträger am Stromverbrauch** lag 2019 bei 38,3%.
- Die **industrielle Eigenstromerzeugung** hatte in 2019 einen Anteil an der Gesamtstromerzeugung von ca. 35%, am Gesamtstromverbrauch des Landes von ca. 26% sowie am Stromverbrauch der rheinland-pfälzischen Industrie von ca. 51%.
- Zwischen 2000 und 2019 nahm der **Primärenergieverbrauch** in Rheinland-Pfalz um 0,8% ab. In den letzten zehn Jahren schwankte er um einen Durchschnittswert von rund 179 TWh (2019: 178,7 TWh).
- Der Anteil des **nicht-energetischen Verbrauchs** in Rheinland-Pfalz am gesamtdeutschen Verbrauch lag 2019 bei 15%, bezogen auf den gesamten Primärenergieverbrauch dagegen nur bei 5%, was auf die große Bedeutung der Chemischen Industrie in Rheinland-Pfalz zurückzuführen ist.
- Der **Anteil der erneuerbaren Energien zur Deckung des Primärenergieverbrauchs** belief sich 2019 auf 14% bzw. 24,5 TWh (Deutschland: 15%); während der direkt ausgewiesene Anteil am Endenergieverbrauch (2019: 136,2 TWh) dagegen bei 7,3% des Energieverbrauchs lag.⁴
- Die Anteile am **Verbrauch von Endenergie** verteilen sich auf die Sektoren Haushalte/GHD (57,5 TWh bzw. 42%), Industrie (42,6 TWh bzw. 31%) und Verkehr (36 TWh bzw. 26%). Der Anteil der Wärme im Endenergieverbrauch in Rheinland-Pfalz wurde 2019 zu zwei Dritteln durch Mineralöle bzw. Mineralölprodukte (37%) und Erdgas (30%) gedeckt.
- Die erneuerbaren Energieträger trugen 2019 etwa 11% zur Deckung des **Bruttoendenergieverbrauchs im Bereich Wärme bzw. Kälte** bei (2005: 5%).

⁴ Unter Einbeziehung der regenerativen Anteile am Endenergieverbrauch von Strom und Fernwärme ergäbe sich ein Anteil von ca. 15% bis 16%. Hinzu kämen die eingesetzten erneuerbaren Energien für die Stromimporte nach Rheinland-Pfalz, die methodisch jedoch nicht erfasst werden.

INHALTSÜBERSICHT ZUM BERICHTSTEIL

Vorwort	6
Factsheet	8
Inhaltsverzeichnis, Abbildungs-, Tabellen- und Anhangsverzeichnis	11
1. Einleitung	15
2. Ziele der Energiepolitik	18
3. Umsetzung der Energiepolitik in Rheinland-Pfalz	22
3.1 Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und regenerative Eigenstromversorgung.....	22
3.2 Netzausbau und Entwicklung der Energieinfrastruktur.....	33
3.3 Energieeffizienz und Energieeinsparung, Beratungsangebote für private Haushalte, Wirtschaft und Kommunen in Rheinland-Pfalz.....	36
3.4 Versorgungssicherheit durch Flexibilisierung des Energieversorgungssystems.....	44
3.5 Mobilitätswende.....	52
3.6 Energieforschung und Wissenstransfer (Schule, Forschung, Wissenschaft).....	57
3.7 Das Land als Vorbild.....	60
3.8 Gesamtwirtschaftliche und -gesellschaftliche Effekte der Energiewende.....	63
3.9 Übersicht über die Förderprogramme des Landes im Energiebereich.....	66
4. Entwicklung von Energieerzeugung und -verbrauch in Rheinland-Pfalz	72
4.1 Rahmenbedingungen und Bestimmungsfaktoren der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs.....	72
4.2 Entwicklung der Energiepreise.....	77
4.3 Entwicklung des Primärenergieverbrauchs.....	80
4.4 Entwicklung des Endenergieverbrauchs.....	84
4.5 Entwicklung des Energieverbrauchs im Bereich der Mobilität.....	90
4.6 Entwicklung der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs.....	95
4.7 Entwicklung der Wärmeerzeugung und des Wärmeverbrauchs.....	100
5. Entwicklung der energiebedingten Emissionen von SO₂ und NO_x	103

ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Abb. 1:	Primärenergieverbrauch in Rheinland-Pfalz und in Deutschland 2019 nach Verwendungsarten.....	81
Abb. 2:	Primärenergieverbrauch in Rheinland-Pfalz und in Deutschland 2019 nach Energieträgern.....	82
Abb. 3:	Endenergieverbrauch 1990 - 2019 nach Verbrauchergruppen.....	86
Abb. 4:	Endenergieverbrauch 1990 - 2019 nach Energieträgern.....	87
Abb. 5:	Endenergieverbrauch im Verkehrssektor 1990 - 2019 nach Energieträgern.....	92
Abb. 6:	Stromerzeugung in Rheinland-Pfalz und in Deutschland 2019 nach Energieträgern.....	96
Abb. 7:	Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern 2005 - 2019.....	97
Abb. 8:	Stromverbrauch nach Erzeugungsstruktur 1990 - 2019.....	99
Abb. 9:	Bruttoendenergieverbrauch 2005 - 2019 nach Anwendungsbereichen.....	102
Abb. 10:	Emissionen von SO ₂ und NO _x 2005, 2018 und 2019.....	109
Abb. 11:	Stickoxidemissionen (Verursacherbilanz) 2005, 2018 und 2019 nach Sektoren.....	109
Tab. 1:	Energieverbrauchs- und Kostenanalysen für LBB-Liegenschaften, Universitäten und Hochschulen.....	62

INHALTSÜBERSICHT ZUM DATENANHANG

Im Datenanhang zum 14. Energiebericht werden ergänzende sowie detailliertere Informationen entsprechend der Kapitelstruktur des Hauptberichts in einem separaten Berichtsteil dargestellt, der ebenfalls auf den Internetseiten des MKUEM zum Download angeboten wird.

U.a. beinhaltet der Datenanhang zusätzliche Informationen zur Methodik der Energiestatistik und weitergehende, vertiefte Darstellungen der Bilanzergebnisse sowie einen umfassenden Abriss der rheinland-pfälzischen Energieforschungs- und Wissenschaftslandschaft und gibt einen Überblick über die Energieerzeugung und -nutzung in rheinland-pfälzischen Landesliegenschaften.

3.1 Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und regenerative Eigenstromversorgung

- A.1: Windenergieanlagen im Wald..... Anhang S. 5
A.2: Energieholzverkauf Landesforsten Rheinland-Pfalz..... Anhang S. 5

3.6 Energieforschung und Wissenstransfer..... Anhang S. 6 - 93

3.7 Das Land als Vorbild

- A.3 - A.11: Erneuerbare Energien Anlagen (Biomasse, Fotovoltaik, Geothermie),
Stromerträge aus Fotovoltaikanlagen, Solarthermie- und KWK-Anlagen sowie
Strom- und Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung in LBB-
Liegenschaften..... Anhang S. 94 - 99

4. Entwicklung von Energieerzeugung und -verbrauch in Rheinland-Pfalz

- (u.a. Methodik und Aufbau der Energiebilanzen)..... Anhang S. 100 - 103
A.12 - A.17: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2018 und 2019 in spez. Mengeneinheiten,
Terajoule bzw. Kilowattstunden..... Anhang S. 104 - 115
A.18: Zeichenerklärung zur Darstellung der Energiebilanz..... Anhang S. 116
A.19 - A.20: Satellitenbilanz „Erneuerbare Energieträger“
2018 bzw. 2019..... Anhang S. 117 - 118
A.21 - A.22: Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung
von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeeinheiten zur
Energiebilanz 2018 bzw. 2019..... Anhang S. 119 - 120
A.23: Energieflussbild Rheinland-Pfalz 2019..... Anhang S. 121

4.1. Rahmenbedingungen und Bestimmungsfaktoren der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs	
A. 24 - A. 26: Ausgewählte Kennzahlen und Indikatoren zum Energieverbrauch 1990 - 2019, Ausgewählte Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs 1990 - 2019, Bruttowertschöpfung 2000 - 2020 nach Wirtschaftsbereichen.....	Anhang S. 122 - 124
4.2. Entwicklung der Energiepreise	
A.27 - A.29: Index der Erzeugerpreise für gewerbliche Produkte, Energie und ausgewählte Energieträger in Deutschland, Index der Verbraucherpreise und für ausgewählte Energieträger in Rheinland-Pfalz, Index der Verbraucherpreise für Kraftstoffe in Rheinland-Pfalz 1995 - 2020.....	Anhang S. 125 - 127
4.3. Entwicklung des Primärenergieverbrauchs	
A.30 - A.31: Primärenergieverbrauch 1990 - 2019 nach Energieträgern, Struktur des Energieverbrauchs 1990 - 2019.....	Anhang S. 128 - 129
4.4. Entwicklung des Endenergieverbrauchs	
A.32 - A.33: Endenergieverbrauch 1990 - 2019 nach Verbrauchergruppen und Energieträgern.....	Anhang S. 130 - 131
4.5. Entwicklung des Energieverbrauchs im Bereich der Mobilität	
A.34 - A.35: Endenergieverbrauch 1990 - 2019 im Verkehrssektor und nach Verbrauchergruppen und Energieträgern.....	Anhang S. 132 - 133
4.6. Entwicklung der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs	
A.36: Strombilanz 1990 - 2019.....	Anhang S. 134
4.7. Entwicklung der Wärmeerzeugung und des Wärmeverbrauchs	
A.37: Bruttoendenergieverbrauch nach Verbrauchssektoren.....	Anhang S. 135
5. Entwicklung der energiebedingten Emissionen von SO₂ und NO_x	
A.38 - A.45: SO ₂ -Emissionen sowie NO _x -Emissionen (Quellenbilanz bzw. Verursacherbilanz) 2005 - 2019 nach Energieträgern und nach Verbrauchergruppen.....	Anhang S. 136 - 144

1. EINLEITUNG

Der Energiebericht des Landes Rheinland-Pfalz ist laut Beschluss des rheinland-pfälzischen Landtags in zweijährigem Turnus zu erstellen¹.

Der inhaltliche Aufbau des Berichts richtet sich nach den Themenfeldern, über die er gemäß Landtagsbeschluss Auskunft geben soll.

Dabei handelt es sich um folgende Bereiche:

- Struktur und Entwicklung der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs,
- Energiepreisbildung und -entwicklung,
- Maßnahmen zur Energieeinsparung,
- Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien sowie
- Entwicklung des Ausstoßes von Kohlendioxid, Schwefeldioxid und Stickstoffoxiden.

Der 14. Energiebericht bezieht sich auf die Bilanzjahre 2018 und 2019. Wenn verfügbar haben auch neuere Informationen Eingang in den Bericht gefunden.

Um eine Vergleichbarkeit und eine Konstanz im Aufbau und der Fortschreibung der Inhalte zu gewährleisten, orientiert sich der 14. Energiebericht inhaltlich an seinen

Vorgängerberichten aus den Jahren 2007 bis 2019.

Der 14. Energiebericht Rheinland-Pfalz umfasst eine Beschreibung der Schwerpunkte und der Ziele der rheinland-pfälzischen Energiepolitik (s. Kapitel 2), basierend auf der Grundlage des Koalitionsvertrags der neuen Landesregierung „Koalition des Aufbruchs und der Zukunftschancen“, der Darstellung wesentlicher Maßnahmen der Landesregierung zur Umsetzung der Energiepolitik in Rheinland-Pfalz (s. Kapitel 3), einer Zusammenstellung energiestatistischer Kennzahlen zur Entwicklung von Energieerzeugung und -verbrauch sowie der Energiepreise (s. Kapitel 4) sowie der Darstellung und Bewertung der Entwicklung energiebedingter Emissionen von SO₂ und NO_x (s. Kapitel 5).

Die Darstellung der wesentlichen Maßnahmen der Landesregierung zur Energiewende wurden im Vergleich zur vorherigen Energiebericht erweitert, teilweise überarbeitet und präzisiert. Mit Kapitel 3.4 „Versorgungssicherheit durch Flexibilisierung des Energieversorgungssystems“ wurde ein neues Kapitel geschaffen, das Beiträge

¹ Drucksache 12/1154 vom 18.03.1992

zu den bisherigen Themen Speicher, Lastmanagement, Sektorenkopplung, Power-to-X und Wasserstoff neu zusammenführt und strukturiert.

Ebenso neu ist Kapitel 3.5 „Mobilitätswende“, das die thematisch umfangreichen Beiträge zu ÖPNV, alternativen Antrieben, Mitfahrerparkplätzen, Radwegen, etc. zusammenfasst.

Mit Kapitel 3.8 „Gesamtwirtschaftliche und -gesellschaftliche Effekte der Energiewende“ wird ein thematisch breit gefasstes Kapitel neu gefasst, das die Beiträge zu den Themenpunkten finanzielle Vorteile der Energiewende (Umsatz, Beschäftigte, Investitionen, Wertschöpfung), Bürgerenergiegenossenschaften und die Rolle der Kommunen beinhaltet.

In einem neuen Kapitel 3.9 „Übersicht über die Förderprogramme des Landes im Energiebereich“ wird die Förderlandschaft in Rheinland-Pfalz im Energiebereich für den Berichtszeitraum dargestellt.

Der 14. Energiebericht unterteilt sich wie sein Vorgängerbericht in einen Berichtssowie einen Datenteil (Anhang). Der Berichtsteil umfasst in textlich gestraffter Form die wesentlichen Aussagen des Energieberichts. Detaillierte Abbildungen und Tabellen zu den Berichtsschwerpunkten sind im Datenteil (Anhang) zu finden.

Dem eigentlichen Berichtsteil vorangestellt ist ein Factsheet, das wesentliche energiestatistische Kennzahlen für Rheinland-Pfalz für den Berichtszeitraum 2018 und 2019 sowie weitere aktuelle Daten zum Ausbau von Windenergie und Fotovoltaik umfasst, sowie eine Zusammenstellung wichtiger Kernaussagen des 14. Energieberichts.

Das Statistische Landesamt erstellt im Auftrag des Klimaschutzministeriums die Energiebilanzen des Landes, wertet diese aus und kommentiert die Entwicklungen (Kapitel 4).

Beginnend mit den allgemeinen Rahmenbedingungen und dem Kapitel zur Entwicklung der Energiepreise im Betrachtungszeitraum werden die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs (PEV) und Endenergieverbrauchs (EEV) als Basisgrößen der Energiebilanz beschrieben. Im Anschluss daran wird der Bereich Mobilität als Teil des EEV betrachtet. Danach folgt das Kapitel zu Stromerzeugung und Stromverbrauch des Landes und schließlich der Abschnitt zu Wärmeerzeugung bzw. -verbrauch.

Im Vergleich zum 13. Energiebericht wurde das energiestatistische Kapitel nur geringfügig umstrukturiert, die Fokussierung auf die Aspekte, die von besonderem öffentlichen wie politischen Interesse sind (Strom, Wärme, Mobilität), wurden beibehalten.

Die Energiebilanz baut auf den gemäß den rechtlichen Vorgaben des Energiestatistikgesetzes (EnStatG) zu erhebenden statistischen Daten zur Energiewirtschaft auf. Zusätzliche Primärdatenerhebungen wurden im Rahmen der Berichterstellung nicht durchgeführt.

Wie bereits im 12. Energiebericht wird auch im 14. Energiebericht die Entwicklung der energiebedingten Emissionen von CO₂ nicht separat dargestellt, da gemäß §7 Abs. 2 Nr. 2 Landesklimaschutzgesetz alle vier Jahre eine zusammenfassende und eigenständige Berichterstattung über die Entwicklung der Treibhausgase (THG) zu erfolgen hat.

Das umfassende THG-Monitoring erfolgt somit durch den 2. Klimaschutzbericht Rheinland-Pfalz.

Die Berechnung und Kommentierung der Entwicklung der energiebedingten Emissionen von SO₂ und NO_x (Kapitel 5) erfolgt im 14. Energiebericht erstmals durch das Statistische Landesamt. Auch die Berechnungen zur SO₂- und NO_x- Bilanzierung beruhen auf amtlichen Daten der rheinland-pfälzischen Energiestatistik.

Zum Datenteil:

Wie bereits in früheren Berichten wurde das umfangreiche Daten- und Tabellenmaterial sowie ergänzende Informationen in

einem eigenständigen Datenteil (als Anhang zum Berichtsteil) zusammengefasst, um die Lesbarkeit des Berichts zu erhöhen. Der Datenteil wird als Datei auf der Internetseite des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität den interessierten Leserinnen und Lesern zur Vertiefung zum Download angeboten. Somit bleibt die Qualität und Tiefe der Datenauswertung und Datendarstellung auch im 14. Energiebericht in bewährter Weise erhalten.

Siehe auch:

<https://mkuem.rlp.de/de/themen/energie-und-strahlenschutz/energiebericht/>

2. ZIELE DER ENERGIEPOLITIK

Im Koalitionsvertrag der Landesregierung vom 10. Mai 2021 „Zukunftsvertrag Rheinland-Pfalz 2021-2026“ sind die folgenden Ziele formuliert:

Allgemeine energiepolitische Zielstellungen

Rheinland-Pfalz wird seinen Beitrag zur Umsetzung des Pariser Klimaabkommens und zur Begrenzung des vom Menschen verursachten Klimawandels auf 1,5 Grad im Vergleich zum vorindustriellen Niveau leisten. Klimaschutz wird als eine ressortübergreifende Querschnittsaufgabe von der gesamten Landesregierung verstanden und umgesetzt.

Die erfolgreiche Energiewende in unserem Land stellt eine wesentliche Grundlage dar, um in einem zeitlichen Korridor von 2035 bis 2040 landesweit Klimaneutralität zu erreichen, in Abhängigkeit von deutschen und europäischen Rahmenbedingungen. Wichtige Schwerpunkte der rheinland-pfälzischen Energiepolitik bilden dabei der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien, insbesondere der Windenergie, der Photovoltaik und der Bioenergie, die Wärmewende und die energetische Gebäudesanierung, die Energieeinsparung und die

Energieeffizienz in Unternehmen, Kommunen sowie in privaten Haushalten, die Kopplung der Verbrauchssektoren Strom, Wärme und Mobilität sowie der Aufbau einer nachhaltigen, klimaneutralen Wasserstoffwirtschaft.

Der Ausbau der Erneuerbaren Energien in Rheinland-Pfalz steigert unsere Eigenversorgung und regionale Wertschöpfung, verringert unsere Abhängigkeit von Importen fossiler Energieträger aus Drittstaaten und reduziert den Einfluss volatiler Preisentwicklungen an den Weltmärkten. Die Erneuerbaren erhöhen die Versorgungssicherheit für unsere Bürgerinnen und Bürger sowie für unsere Wirtschaft zu planbaren und bezahlbaren Preisen.

Das Land wird sich auch weiterhin mit aller Kraft für eine Abschaltung der grenznahen Risikoreaktoren sowie für eine Vermeidung von Zwischenlagern einsetzen. Zudem ist es erforderlich, dass auch die Bundesregierung alle dafür erforderlichen Maßnahmen ergreift und sich für eine transparente Endlagersuche der europäischen Nachbarn mit allen Beteiligungsrechten der rheinland-pfälzischen Bevölkerung einsetzt.

Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung

Der Ausbau der erneuerbaren Energien soll im Rahmen einer zukünftigen Gesetzesnovelle als allgemeines öffentliches Interesse im Klimaschutzgesetz verankert werden.

Rheinland-Pfalz bekennt sich zum Ausbauziel 100% erneuerbare Energien bis 2030. Dazu sind ein jährlicher Netto-Ausbau von 500 Megawatt an Fotovoltaikleistung und 500 Megawatt an Windkraftleistung sowie daraus resultierend bis 2030 mindestens eine Verdopplung der installierten Leistung bei der Windkraft und eine Verdreifachung bei der Fotovoltaik erforderlich.

Um eine Vereinfachung, Vereinheitlichung und Beschleunigung bei der Genehmigung von Windenergieanlagen zu erreichen sollen u. a. die Zuständigkeiten für die Anlagengenehmigung auf die beiden SGDen übertragen, die Flächenverfügbarkeit durch Verminderung der Mindestabstände zur Wohnbebauung auf 900 m erhöht, das Repowering von Altanlagen erleichtert sowie vorbelastete Flächen entlang von Bahntrassen, Autobahnen, Konversionsflächen oder auf Kalamitätsflächen (Borkenkäfer, Windbruch) in Waldgebieten stärker genutzt werden. Damit die Menschen vor Ort noch mehr von regionaler Wertschöpfung aus erneuerbaren Energien profitie-

ren, unterstützt das Land Energiegenossenschaften sowie Solidarpakte, vor allem zwischen Standort- und Anliegerkommunen.

Um den Ausbau der Fotovoltaik im Land weiter zu stärken, wird bei Gewerben Neubauten und für neue Parkplatzflächen mit mindestens 50 Stellplätzen, für die ab Januar 2023 ein Antrag auf Baugenehmigung gestellt wird, eine Pflicht zur Installation von Fotovoltaikanlagen gesetzlich vorgeschrieben. Im Rahmen der Fortschreibung des Landesentwicklungsprogramms soll die Freiflächen-Fotovoltaik eine stärkere Berücksichtigung finden. Die Landesverordnung über Gebote für Solaranlagen wird für den Zeitraum nach 2021 fortgeschrieben und ermöglicht PV-Freiflächenanlagen auf ertragsarmen Grünland- und ertragsarmen Ackerflächen. Die Höchstgrenze wird auf 200 MW pro Jahr erweitert.

Biogaserzeugung und -verwendung soll flexibel die Versorgungssicherheit in Abhängigkeit von der volatilen Wind- und Fotovoltaikstromerzeugung unterstützen. Eine flächendeckende Nutzung der Bioabfälle in den Kommunen für die energetische und stoffliche Verwertung zur erneuerbaren Strom- und Wärmeerzeugung sowie zur Kompostherstellung als Naturdünger wird angestrebt. Bis zum Jahr 2030 sollen deutlich mehr als die Hälfte aller in Rheinland-Pfalz getrennt gesammelten Bioabfälle in der Biogasgewinnung genutzt werden.

Wärmewende

Die Landesregierung verfolgt das Ziel einer deutlichen Erhöhung der energetischen Sanierungsquote von Gebäuden zur Energieeinsparung von heute 0,8% auf 3% bis 2030. Ein wesentlicher Schlüssel dazu liegt bei den Kommunen im Land, die das Land im Rahmen eines „Kommunalen-Klimapaktes“ bei der Umsetzung von nachhaltigen Quartierslösungen, energetischen Sanierungskonzepten und erneuerbaren Energieversorgungsmodellen auch mit Fokus auf die regionale Wertschöpfung unterstützen möchte.

Rheinland-Pfalz strebt eine möglichst hohe und schnelle Durchdringung des Wärmesektors mit erneuerbaren Energien an, vorrangig mit effizienten Wärmepumpen und Kalter Nahwärme, die ihren elektrischen Strom aus erneuerbaren Energien beziehen sowie mit Solarthermie-, Holzpelletanlagen und industrieller Abwärme.

In Verbindung mit Wärmeschutzmaßnahmen, die zu erheblichen Energieeinsparungen führen, ist eine effiziente und erneuerbare Wärmeerzeugung auch für unsere Bürgerinnen und Bürger der richtige Weg für eine dauerhaft bezahlbare Heizung.

Auf Bundesebene strebt das Land eine Länderöffnungsklausel an, um ein ambitioniertes Landeswärmegesetz auflegen zu können.

Energieeinsparung und Energieeffizienz

Ein gutes Beratungsangebot ist für das Gelingen der Energiewende förderlich. Die Energiewende muss auf bundes- und landespolitischer Ebene eingeleitet und auf lokaler Ebene umgesetzt werden. Dazu wurde die Erstinformation und Erstberatung von Unternehmen und Kommunen sowie von den Bürgerinnen und Bürgern zum Ausbau der erneuerbaren Energien, zur Energieeinsparung und zur Steigerung der Energieeffizienz auf- und ausgebaut. Bei diesem Beratungsangebot sind Effizienzsteigerung, Sparsamkeit, Vermeidung von Doppelstrukturen und eine gute Ausrichtung auf die Bedarfe im Land von Bedeutung.

Um Energieeinsparung und Energieeffizienz im Land weiter zu fördern, wird das Land eine flächendeckende kommunale Beratung zu Bauleitplanung, Sanierungsfahrplänen, Energiemanagement und Förderkulissen durch die Energieagentur ermöglichen, die EffCheck-Beratungen für KMUs strukturell erweitern und die Energieberatung der Verbraucherzentrale für Bürgerinnen und Bürger weiter stärken. Darüber hinaus unterstützt das Land im Bereich der Energieeffizienz eine Reduzierung der „Grauen Energie“ und Lebenszykluskosten in der Bauwirtschaft durch den Einsatz nachhaltiger Baumaterialien, Verfahren und Standards.

Sektorenkopplung

Ein effizientes Lastmanagement im Energieverbrauch, die hocheffiziente und flexible Strom- und Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung, die technologische Entwicklung und Markteinführung von innovativen Energiespeichern, wie z.B. Batterien, Power-to-Heat oder Power-to-Gas, sowie die engere Verknüpfung der Strom-, Wärme- und Verkehrssektoren (Sektorenkopplung) werden einen zunehmend wichtigen Beitrag leisten, um die fluktuierende Einspeisung von Wind- oder Solarstrom sicher in unser Energieversorgungssystem zu integrieren.

Auf der Bundesebene wird eine Anpassung der gesetzlichen Rahmenbedingungen zur technologieoffenen Befreiung der Sektorenkopplung bei nachgewiesener System- und Netzdienlichkeit von den Netzentgelten angestrebt.

Das Land will den Ausbau hocheffizienter, flexibel regelbarer, grüner Kraft-Wärme-Kopplung in Verbindung mit Speicher- und Regelkraftwerken auf der Grundlage von Batterien, Power-to-X, Wärmespeichern, Pumpspeichern, Bioenergieanlagen zum Erhalt der Versorgungssicherheit forcieren. Darüber hinaus wird die Sektorenkopplung kraftvoll in die E-Mobilität hinein entwickelt.

Das Land wird sich auf Bundesebene für geeignete Rahmenbedingungen für den

Ausbau und die Entwicklung der regionalen Verteilnetze in Rheinland-Pfalz im Sinne der Sektorenkopplung einsetzen.

Wasserstoff

Im Rahmen einer rheinland-pfälzischen H₂-Strategie wird das Land Wasserstoff als sektorenübergreifenden Energieträger und Rohstoff in allen Wirtschaftsbereichen voranbringen. Rheinland-Pfalz soll zu einer Modellregion für Wasserstofftechnologie werden, indem das Land insbesondere die energieintensive Industrie bei der Nutzung von Wasserstoff, der treibhausgasneutral, möglichst durch erneuerbare Energien erzeugt wird, unterstützt.

Grünen Wasserstoff aus Stromüberschüssen der volatilen erneuerbaren Energien zu erzeugen, statt Wind- und Solaranlagen abzuregeln, hat für Rheinland-Pfalz hohe Priorität insbesondere mit Blick auf die erforderliche Ausgleichsfunktion, wenn die erneuerbaren zur Bedarfsdeckung nicht ausreichen.

Da bei der Erzeugung von Wasserstoff Abwärme entsteht, will das Land insbesondere auch Wasserstoff-Projekte in Verbindung mit regionalen Wärmenetzen unterstützen. Dort, wo eine Elektrifizierung des Verkehrsbereiches nicht möglich ist, werden auf grünem Wasserstoff basierende Transportsysteme angestrebt. Hierzu soll die Forschung und Entwicklung gefördert werden.

3. UMSETZUNG DER ENERGIEPOLITIK IN RHEINLAND-PFALZ

3.1 Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und regenerative Eigenstromversorgung

Wasserkraft

Strom aus erneuerbaren Energien ist umweltverträglich, da diese keine natürlichen Ressourcen aufbrauchen, sondern vielmehr mit der Natur Energie erzeugt wird. Bei dieser Form der Energiegewinnung entsteht kaum oder gar kein CO₂. Entsorgungsprobleme für Filterstäube und Verbrennungsrückstände existieren ebenfalls nicht. Allerdings ist die Wasserkraftnutzung durch Aufstau und Turbinenbetrieb auch mit negativen Auswirkungen auf das Ökosystem Gewässer verbunden. Hier sind besonders die Anforderungen des Fischereirechts, des Wasserrechts und des Naturschutzrechts zu beachten, wo die Durchgängigkeit der Gewässer (aufwärts- und abwärts gerichtete Fischwanderungen) sowie der Fischschutz für den Erhalt der Fischpopulation ausschlaggebend sind. Aufgrund der Klimaveränderungen ist insbesondere bei den mittleren und kleinen

Anlagen mit vermehrten Ausfallzeiten in Niedrigwasserzeiten zu rechnen.

Eine 2008 veröffentlichten Studie zur Ermittlung des Wasserkraftpotenzials in Rheinland-Pfalz¹ stellt fest, dass das technisch nutzbare Gesamtpotenzial der Wasserkraft in Rheinland-Pfalz ca. 1.010 GWh/a beträgt, welches bereits zu 97% ausgeschöpft wird.

Im Rahmen des Projektes „Bewertung der rheinland-pfälzischen Wanderfischgewässer hinsichtlich Durchgängigkeit und Eignung zur Wasserkraftnutzung“ wurden in 2006 Wasserkraftanlagen an den Gewässern > 100 km² Einzugsgebiet ermittelt. Schwerpunkt der Stromerzeugung sind vor allem die 24 großen Wasserkraftanlagen an Saar, Mosel, Lahn, Nahe und Wied.

Der Aufstau der Flüsse durch Querbauwerke zur Nutzung der Wasserkraft führt zu Unterbrechung der linearen Durchgängigkeit sowie zur Änderung der Charakteristik

¹ Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG, 2008): Durchgängigkeit und Wasserkraftnutzung in Rheinland-Pfalz, Bearbeitung: Ingenieurbüro Floecksmühle, LUWG-Bericht 2/2008

des Fließgewässers. Dies hat gravierende Folgen für den Lebensraum Fließgewässer und den an die besonderen Lebensräume angepassten Pflanzen, Kleinlebewesen und Fischen, insbesondere den Langdistanzwanderfischen wie Lachs, Aal und Maifisch. Demzufolge wird immer wieder eine Nutzung der Wasserkraft ohne Aufstau diskutiert und es gibt dazu viele technische Konzepte und Realisierungen. Grundsätzlich gilt jedoch, dass die Energieausbeute solcher Anlagen wesentlich kleiner ist als die Ausbeute bei konventionellen Anlagen. Die noch in der Erprobung befindlichen schwimmenden Strömungskraftwerke, sog. „Strom-Bojen“ oder auch sog. Schachtwasserkraftwerke könnten weiteres Potenzial liefern.

Insgesamt ist festzustellen, dass es zahlreiche „neue“ Entwicklungen gibt, die aber bei näherer Betrachtung Weiterentwicklungen und Kombinationen bekannter Techniken darstellen. Inwieweit diese Entwicklungen ihren Platz finden werden, ist erst nach einer erfolgreich abgeschlossenen Testphase einschließlich der notwendigen Leistungsnachweise feststellbar. Letzten Endes ist in allen Anwendungsfällen ein standortspezifisches abgestimmtes Gesamtkonzept entscheidend, um einerseits eine optimale Nutzung der von der Natur gebotenen Wasserkraftressource zu erreichen, bei der andererseits der Schutz des Ökosystems Gewässer im notwendigen Umfang gewährleistet ist.

Windenergie

In Rheinland-Pfalz sind rund 42% der Landesfläche bewaldet und die windhöufigsten Standorte finden sich überwiegend auf den bewaldeten Höhenzügen, in der Regel fern ab von dichter besiedelten Ortslagen. Wenn hier Erträge aus der Bereitstellung von Windenergiestandorten erzielt werden, kommen sie der Allgemeinheit, in erster Linie den Kommunen und damit der lokalen Bevölkerung zugute.

Der Wald ist aufgrund seiner langen Lebensdauer besonders vom Klimawandel betroffen. Bereits jetzt weisen 84% aller Bäume Schäden auf, die unter anderem auf die Klimaveränderung zurückzuführen sind. Windenergieanlagen tragen zur Minderung von Emissionen und damit zum Klima- und Waldschutz bei.

Die meisten Wälder in Rheinland-Pfalz sind im Eigentum der öffentlichen Hände (Kommunen (ca. 46%) und Land (ca. 26%)). Als größte waldbesitzende Körperschaft nimmt sich Landesforsten Rheinland-Pfalz der öffentlichen Aufgabe einer nachhaltigen Energieversorgung auf regenerativer Basis an, bemüht sich aktiv um geeignete Windenergiestandorte auch im Staatswald und bringt sich mit geeigneten Standorten im Staatswald auch in kommunale Solidarpakte ein. Hierdurch kann die Windenergienutzung auf gut geeigneten Standorten konzentriert werden. Im Jahr 2020 drehten

sich rund 26% der Windenergieanlagen in rheinland-pfälzischen Wäldern.

Der Ausbau der Windenergie auf Waldstandorten hat in Rheinland-Pfalz früh begonnen und es konnten vielfältige und wertvolle Erfahrungen gesammelt werden. Ende 2019 drehten sich insgesamt 452 Windenergieanlagen in Rheinland-Pfalz im Wald und leisteten somit einen wertvollen Beitrag zu einer nachhaltigen Energiewende. Über 80% dieser Anlagen stehen im Kommunalwald. Weitere Windräder befinden sich im Bau oder sind in Planung.

Eine Übersicht über Windenergieanlagen im Wald ist im Anhang beigefügt.

Bioenergie, biogene Reststoffe und Abfälle

Die Bioenergie ist unter den Erneuerbaren ein wichtiger Baustein. Im Jahr 2019 hatte die Biomasse am erneuerbaren Strom einen Anteil von 20%, an der erneuerbaren Wärme einen Anteil von 85% und am erneuerbaren Verkehr einen Anteil von 86%. In Rheinland-Pfalz betrug der Anteil der Biomasse am Endenergieverbrauch der Erneuerbaren im Jahr 2019 86%.

Landwirtschaftliche Biogasproduktion Stromproduktion

Die landwirtschaftliche Biogaserzeugung ist gerade auch in Rheinland-Pfalz das Arbeitspferd unter den Bioenergieträgern.

Der Anteil der Stromerzeugung aus Biogas in Rheinland-Pfalz betrug im Jahr 2019 mit 488 GWh etwa 44% der insgesamt durch Biomasse eingespeisten Strommenge. Ein Neuanlagenzubau findet dabei kaum statt, die Stromerzeugung durch Biogas bleibt auf gleichbleibendem Niveau und ist – wie auch bundesweit – im Wesentlichen auf den Leistungszubau an den Bestandsanlagen zurückzuführen.

Bedingt durch diesen über das EEG geförderten Zubau kann die Stromproduktion aus Biogas zunehmend flexibel und bedarfsgerecht erfolgen. In Rheinland-Pfalz ist zwischenzeitlich etwa ein Drittel der Biogasanlagen für den flexiblen Anlagenbetrieb gerüstet und kann bedarfsgerecht Strom liefern, wenn Wind- und Sonnenenergie zu wenig beitragen.

Daher soll Biogas als fester Bestandteil des Energiemixes in Rheinland-Pfalz auch über 2030 hinaus erhalten bleiben, zumal die Anlagen gleichzeitig erneuerbare Wärme liefern können.

Das rheinland-pfälzische Klimaschutzministerium unterstützt die Biogasanlagenbetreiber deshalb weiterhin mit dem „Zukunftsscheck Biogas“ dabei, deren Anlagen flexibel, effizient und damit wirtschaftlich zu betreiben.

Rohstoffnutzung durch Biogasanlagen

Das Hauptsubstrat in Biogasanlagen ist unter den nachwachsenden Rohstoffen nach

wie vor Silomais. Dessen Anteil ist aber zugunsten alternativer Rohstoffe, wie z. B. Ganzpflanzensilage oder Grassilage auch aufgrund des zwischenzeitlich auf 40% gesenkten gesetzlichen Maisdeckels weiter rückläufig. Daneben sind Wirtschaftsdünger, wie z. B. Gülle oder Stallmist mit einem Anteil von etwa ein Drittel bedeutende Biogassubstrate. Die gasdichte Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen kann in der Landwirtschaft wesentlich zur Reduktion von Treibhausgasen sowie zur Nitratrückhaltung und damit zum Gewässerschutz beitragen. Das Klimaschutzministerium setzt sich daher weiterhin im Rahmen seiner Möglichkeiten für die Verbesserung der einschlägigen gesetzlichen Rahmenbedingungen und eine Förderung der Wirtschaftsdüngervergärung außerhalb des Strommarktes ein.

Müllheizkraftwerke

Neben den Energieerzeugungsanlagen die ausschließlich Biomasse einsetzen wurden 2019 in Rheinland-Pfalz 755.963 t Restabfälle in 3 Müllheizkraftwerken verwertet.

Aus dieser Abfallmenge wurden rund 1,475 TWh Energie gewonnen (17% Strom, 28% Wärme, 55% Prozessdampf) und hierdurch 222.933 t CO₂ eingespart. Bei den eingesetzten Restabfällen handelte es sich um Haus-, Sperr-, Gewerbe-, Bau- und sonstigen Abfällen, die sich sowohl aus Biomasse als auch aus mineralischen Stoffen zusammensetzen.

Abfallvergärungsanlagen

2019 wurden in den 7 Bioabfallvergärungsanlagen in Rheinland-Pfalz aus 197.796 t Bioabfälle aus der Getrenntsammlung, primär Gartenabfälle und Abfälle aus der Bio- tonne, in der Kaskade Strom und Wärme von rund 0,016 TWh erzeugt. Dabei wurden 80% als Strom in das Netz eingespeist und 20% der Energie in Form von Wärme genutzt.

Energieholz

Seit dem Jahr 2004 ist Landesforsten RLP in der Beratung über die Einsatzmöglichkeiten des Brennstoffs Holz aktiv. Die Einführung von Produktleitern „Holzenergieberatung“, Informationsartikel wie der Ratgeber „Effizient Heizen mit Holz und Sonne“ und viele weitere Aktivitäten leisten einen wertvollen Beitrag zur Aufklärung.

Im Jahre 2020 wurden durch Landesforsten Rheinland-Pfalz insgesamt ca. 350.000 Festmeter Energieholz verkauft. 49% davon gingen an gewerbliche, 51% an nicht gewerbliche Kunden, d.h. überwiegend an Endverbraucher. Rund 4% des Energieholzes wurden als Hackschnitzel aufgearbeitet, der Rest wurde als Waldholz vermarktet. Das Waldholz wird im Wesentlichen zu Scheitholz weiterverarbeitet. 60% entfielen auf die Baumart Buche, 14% auf die Eiche, 16% auf das Nadelholz wie z. B. Fichte und 10% auf sonstige Laubbaumarten.

Da zwar fast alle rheinland-pfälzischen Kommunen ihr Brennholz an Endkunden über Landesforsten vermarkten, aber das Brennholz für gewerbliche Kunden über die kommunalen Holzvermarktungsorganisationen verkaufen, muss letzterer Anteil - unter Annahme einer ähnlichen Entwicklung wie im Staatswald - geschätzt werden.

Hinzu kommt, dass nur ein kleiner Anteil der privaten Waldbesitzer das Brennholz über Landesforsten vermarktet. Im Privatwald ist darüber hinaus mit einem beträchtlichen Anteil an Eigenbedarf zu rechnen. Aufgrund der Erhebungen der Bundeswaldinventur III (veröffentlicht 2015) ist davon auszugehen, dass ca. 200.000 Festmeter Holz aus dem Privatwald energetisch genutzt werden.

Unter Berücksichtigung der genannten Tatsachen ist davon auszugehen, dass der Gesamtanfall von Energieholz in 2020 inkl. Eigenbedarf bei rd. 630.000 Festmeter lag.

Im Bereich der erneuerbaren Wärmeenergie ist Holz mit Abstand die bedeutendste erneuerbare Energieform. Die enormen Mengen an erneuerbarer Wärmeenergie aus Holz werden dabei überwiegend durch die über 605.000 Einzelfeuerstätten in RLP (Statistische Anlagenerhebung des Schornsteinfegerhandwerks RLP), die mit festen Brennstoffen – vorwiegend Scheitholz – betrieben werden, erzeugt. Obwohl Holz ein nachwachsender Rohstoff ist,

steht er nachhaltig nur begrenzt zur Verfügung. Durch den Einsatz moderner Technik besteht z.B. bei Einzelraumfeuerungsanlagen ein erhebliches Effizienzsteigerungspotenzial. Durch den Einsatz moderner Technik könnte, trotz konstanter zur Verfügung stehender Rohstoffmengen, der Anteil der energetischen Nutzung des Holzes innerhalb der erneuerbaren Energieträger gesteigert werden.

Eine Übersicht zum Energieholzverkauf von Landesforsten Rheinland-Pfalz im Jahr 2020 ist im Anhang enthalten.

Klärgas

Stromerzeugung auf Kläranlagen

Die Landesregierung fördert Maßnahmen der Klärschlammbehandlung mit Gaserzeugung und Gasverwertung sowie den Bau von Fotovoltaikanlagen auf Kläranlagen zur Steigerung der Eigenstromerzeugung. Im Jahr 2014 wurde von der Landesregierung die Broschüre „Umstellung von Kläranlagen auf Schlammfäulung“ veröffentlicht. Auch auf dieser Grundlage bzw. der zugehörigen Studie wurden vom Land konkrete Umstellungsmaßnahmen der Kommunen von Kläranlagen auf die sogenannte Fäulungstechnik zur Erzeugung von Klärgas finanziell gefördert. Beispielfähig können hier die Kläranlagen Selters, Saulheim, Nothbachtal, Simmern und Edenkoben genannt werden. Ziel ist die

Ausstattung weiterer mittelgroßer Kläranlagen ab 10.000 Einwohnerwerten Anschlussgröße mit der Faulungstechnik. Zurzeit werden auf den Kläranlagen Unteres Nahetal, Emmelshausen und Zell-Bullay-Alf Faultürme zur energetischen Verwertung des Klärschlammes errichtet. In der Studie „Zukunftsorientierte Einbindung der Faulung und Faulgasverwertung in die Verfahrenskette der Abwasserreinigung, Schlammbehandlung und -verwertung in Rheinland-Pfalz“ (ZEBRAS) im Auftrag des damaligen MUEEF wurden die noch vorhandenen Optimierungspotenziale der rheinlandpfälzischen Faultürme ermittelt und Vorschläge für deren Nutzung erarbeitet. Neben der verfahrenstechnischen Optimierung der Schlammfaulung bestehen noch relevante Potenziale u. a. bei der Nachrüstung von Anlagen mit neuen Blockheizkraftwerken oder auch Mikrogasturbinen.

Als Grundlage für die Maßnahmen der Kläranlagenbetreiber werden Energieanalysen vom Land finanziell unterstützt.

Nach einer aktuellen Abschätzung für die Stromerzeugung auf Kläranlagen wird von einer Steigerung von etwa 0,037 TWh im Jahr 2011 auf etwa 0,055 TWh im Jahr 2020 ausgegangen. Davon wurden über 96% im eigenen Betrieb genutzt.

Solarthermie

Das Prinzip ist einfach: Solarthermieanlagen verwandeln Sonnenenergie in Wärme. Das funktioniert, indem die Wärmeträgerflüssigkeit der Solarthermieanlage durch Absorption der Strahlungsenergie der Sonne aufgewärmt wird. Diese Wärme kann dann in zwei verschiedenen Anwendungen genutzt werden: Zur solaren Trinkwassererwärmung und zur solaren Heizungsunterstützung.

Mit knapp 80% ist der Flachkollektor der am häufigsten installierte Kollektortyp. Daneben werden Röhrenkollektoren verbaut, während Luft- und Speicherkollektoren nur in wenigen Fällen existieren (0,2%).

Bezüglich der Anlagennutzung ergibt sich ein Verhältnis von rd. 52% für die Warmwasserbereitung und rd. 48% für die Heizungsunterstützung (Raumheizung). Solarthermie-Kollektoren werden nur in sehr geringem Ausmaß (<0,1%)² zur Kälteerzeugung oder Prozesswärmeerzeugung verwendet.

Bis Ende 2020 waren in Deutschland insgesamt 2,5 Mio. Solarwärme-Anlagen mit einer Solarkollektorfläche von insgesamt 21,3 Mio. m² (brutto) installiert. Bundesweit beträgt die insgesamt installierte Solarwärme-Leistung 15 GWth, die jährlich CO₂-

² Solaratlas www.solaratlas.de; Datenabfrage 8. Juli 2021

Emissionen von rund 2,1 Mio. Tonnen vermeiden.³

In 2020 wurden 83.000 Solarwärme-Anlagen neu verbaut (470 MW_{th}). Die gesamte Kollektorfläche lag in Rheinland-Pfalz im Jahr 2018 bei 967.100 m², dies entspricht 48,71 m² Kollektorfläche pro km² Landesfläche. Die gesamte solarthermische Wärmeerzeugung belief sich auf 0,440 TWh_{th}.⁴ Im Bundesländervergleich lag Rheinland-Pfalz im Jahr 2018 hinsichtlich des realisierten Potenzials der Dachflächennutzung für Solarthermie hinter Bayern und Baden-Württemberg auf einem dritten Rang.⁵

Das Thema: „Solare Wärmenutzung“ behandelt ebenfalls die Broschüre „Effizient Heizen mit Holz und Sonne“, die durch das Umweltministerium in Zusammenarbeit mit dem Landesbetrieb Landesforsten Rheinland-Pfalz im Jahr 2008 gemeinsam herausgegeben wurde. Im Jahr 2014 wurde diese Broschüre grundlegend überarbeitet. Im Kapitel „Solare Wärmenutzung – Die Sonne schickt uns keine Rechnung“ wird anschaulich erklärt, welche Möglichkeiten die Solarthermie bietet. Die Broschüre (5. Auflage, Dezember 2019) kann unter anderem auf der Internetseite [www.wald-](http://www.wald-rlp.de)

rlp.de bestellt und heruntergeladen werden.

Fotovoltaik

Förderung von Beratungs- und Informationsangeboten

Das Land fördert Beratungs- und Informationsangebote mit dem Ziel des Ausbaus der Solarenergie, immer auch mit Berücksichtigung der Speichertechnologien:

Mit der Solarinitiative Rheinland-Pfalz (SIRLP) unterstützt die Energieagentur Rheinland-Pfalz insbesondere Kommunen und Unternehmen bei der Planung und Umsetzung ihrer Solarenergievorhaben – sowohl im Bereich des Einsatzes solarer Wärme als auch im Bereich der regenerativen Stromerzeugung mit Fotovoltaik.

Die Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz berät Besitzer/innen von Eigenheimen und Wohnungen im Rahmen des Projektes „Stationäre Energieberatung“ zur Nutzung von PV und Solarthermie. Die Verbraucherzentrale RLP gibt auch eine Verbraucherinformation „Fotovoltaik für Privathaushalte“ heraus. Diese Broschüre enthält alle zum Errichten und Betreiben von PV-Anlagen und Speichern notwendigen Informationen.

³ BSW Solar: Faktenblatt Solarwärme Update 2020; Statistische Zahlen der deutschen Solarwärmebranche (Solarthermie); April 2021

⁴ AGEE: Bundesländer mit neuer Energie - Statusreport Föderal Erneuerbar 2019 / 2020

⁵ Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin); Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW); Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (AEE) Vergleich der Bundesländer: Analyse der Erfolgsfaktoren für den Ausbau der Erneuerbaren Energien 2019 Indikatoren und Ranking; Endbericht; November 2019

Das Landesnetzwerk Bürgerenergiegenossenschaften (LANEG e.V) berät im Rahmen des Projektes „Energiewende in die Praxis bringen – mit Bürgerenergiegenossenschaften in Rheinland-Pfalz“ Bürgerenergiegenossenschaften u. a. zu Geschäftsmodellen auf der Basis von PV.

Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) wirbt im Rahmen einer Kampagne für eine verstärkte Nutzung der Solarenergie (PV und Wärme). Hierzu soll mit verschiedenen Maßnahmen in der Gesellschaft über diese Energienutzung informiert werden und zur Umsetzung motiviert werden.

Beteiligung des Landes Rheinland-Pfalz am Projekt LIFE-IP ZENAPA

Das Land Rheinland-Pfalz ist zudem über das Nationalparkamt Hunsrück-Hochwald Partner des EU-Förderprojekts „LIFE-IP ZENAPA – Zero Emission Nature Protection Areas“, welches zudem durch die Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz kofinanziert wird. Dem Projekt gehören Partner aus 8 Bundesländern und Luxemburg an, darunter aus Rheinland-Pfalz zahlreiche Kommunen sowie weitere Akteure, wie die Träger der Biosphärenreservate Bliesgau und Pfälzerwald-Nordvogesen. Das Projekt zielt darauf ab, die Energiewende mit den verschiedensten Anforderungen des Klima-, Natur- und Artenschutzes in Einklang zu bringen. In diesem Rahmen

wurden von den Partnern das Programm „1.000 Solardächer“ ins Leben gerufen.

Landesverordnung über Gebote für Solaranlagen auf Grünlandflächen in benachteiligten Gebieten

Das EEG eröffnet den Ländern die Möglichkeit, eigene Regelungen für die Nutzung von Acker- und Grünlandflächen in benachteiligten Gebieten für Fotovoltaik-Freiflächenanlagen zu treffen. Um im Land die Teilhabe auch an diesem Baustein der Energiewende bzw. der dadurch generierten regionalen Wertschöpfung zu ermöglichen, hat die Landesregierung von dieser Ermächtigungsgrundlage im EEG Gebrauch gemacht und Gebote auf ertragsarmen Grünlandflächen in benachteiligten Gebieten für Fotovoltaik-Freiflächenanlagen in den einschlägigen Ausschreibungen zugelassen. Diese Öffnung der Flächenkulisse wurde durch eine Änderung der Freiflächen-Verordnung vom 28. Dezember 2021 auf ertragsarme Ackerflächen erweitert und von 50 auf 200 MW jährlich erhöht.

Landesweites Solarkataster

Im Januar 2021 wurde das landesweite Solarkataster RLP (www.solarkataster.rlp.de) der Öffentlichkeit vorgestellt. Die Online-Anwendung ermöglicht Hauseigentümern, ihre Dächer auf das Solarenergiepotenzial zur Nutzung für eine Fotovoltaik- oder Solarthermie-Anlage zu prüfen und eine erste

Wirtschaftlichkeitsabschätzung vorzunehmen. Dabei können die individuellen Anforderungen an Eigenversorgung, Speicher- und Verbraucherintegration, Wärmeversorgung, etc. passgenau berücksichtigt werden. Die Auswertung kann als Basis für Beratung oder den Einstieg in eine Fachplanung für die eigene Solarenergieanlage dienen. Die Anwendung bietet einen niedrigschwelligen, unabhängigen und unverbindlichen Zugang zur Abschätzung des Solarenergiepotenzials auf Bestandsdächern im Land.

Landessolargesetz

Mit dem Landessolargesetz vom 30. September 2021 wird die Installation von Fotovoltaik-Anlagen auf Dächern gewerblicher Neubauten und über gewerbezugehörigen Parkplatzflächen zur Pflicht. Erfasst werden dabei alle Bauanträgen, die nach dem 1. Januar 2023 gestellt werden.

Geothermie

Im Bereich des Oberrheingrabens der Süd- und Vorderpfalz verfügt Rheinland-Pfalz über große geothermische Potenziale der Tiefengeothermie. Seit mehr als einem Jahrzehnt wird in diesem Bereich nach Erdwärme gesucht. Zu deren Nutzung wurden zwei Geothermiekraftwerke errichtet, die aus etwa 3.000 m Tiefe über 160 Grad Celsius heißes Thermalwasser heben und daraus elektrische und Wärmeenergie erzeugen können. In Landau ging Ende 2007 das

erste industrielle Geothermie-Kraftwerk Deutschlands in Betrieb. Es verfügt über eine elektrische Leistung von circa 3 MW. Die mögliche thermische Leistung zu Heizzwecken beträgt 3 bis 6 MW. In Insheim, nur wenige Kilometer von Landau entfernt, ist seit Ende des Jahres 2012 ein zweites Geothermiekraftwerk in Betrieb. Die elektrische Leistung dieses Kraftwerkes liegt bei 4,8 MW, die mögliche thermische Leistung zu Heizzwecken beträgt hier 6 bis 10 MW.

In Rheinland-Pfalz sind derzeit mehrere tiefe Erdwärmesondenanlagen in Betrieb, bei denen die Erdwärme ausschließlich zu Heizzwecken aus Tiefen von 800 - 1.500 Metern genutzt wird. Des Weiteren werden in Rheinland-Pfalz diverse kalte Nahwärmenetze betrieben. Mehrere Häuser werden hierbei zu Heiz- und Kühlzwecken an ein zentrales Erdwärmesondenfeld angeschlossen.

Auf Grund von spürbaren Erdbeben im August und September 2009, die im Zusammenhang mit dem Betrieb des Geothermiekraftwerkes in Landau standen, hat die Landesregierung ein „Mediationsverfahren Tiefe Geothermie Vorderpfalz“ initiiert. Vertreterinnen und Vertreter von Bürgerinitiativen und Betreibergesellschaften haben über die Probleme der Nutzung der Tiefengeothermie diskutiert und zusammen mit der Landesregierung Lösungsansätze vereinbart

(<https://mwvlw.rlp.de/de/themen/wirtschaftszweige/rohstoffwirtschaft-geologie/buergerdialog>).

Die Nutzung oberflächennaher Erdwärme als erneuerbare Energie zu Heiz- und Kühlzwecken ist in Rheinland-Pfalz etabliert und wird weiter ausgebaut.

Dabei wird die in den Erdschichten bzw. dem Grundwasser bis 400 Meter gespeicherte Wärme bei einem Temperaturniveau von 8 bis 12°C über effiziente Wärmepumpen genutzt.

Die Landesregierung unterstützt die Nutzung der Erdwärme durch die Datenbereitstellung beim Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB) als zentrale Anlaufstelle für geowissenschaftliche Fragestellungen. Das LGB gewährt den Zugriff auf geologische Karten und andere geologische bzw. geothermische Informationen (<https://www.lgb-rlp.de/karten-und-produkte/online-karten/online-karten-geothermie/online-karte-standortbewertung-erdwaerme.html>). Ziel des internetgestützten Informationsangebotes ist eine kostenfreie Standortanalyse zur Nutzung der oberflächennahen Erdwärme. Bauherren, Planer und Bohrfirmen erhalten damit eine Vielzahl wichtiger Informationen rund um das Thema „Heizung mit Wärmepumpen und Erdwärmesonden“ (<http://www.lgb-rlp.de/service/lgb-downloads/erdwaerme.html>).

Für Fragestellungen zur tiefen Geothermie im Oberrheingraben stehen geologische und geophysikalische Informationen in Form eines digitalen dreidimensionalen Untergrundmodells online zur Verfügung (<http://www.geopotenziale.org>).

Regenerative Eigenstromversorgung

Die technologische Entwicklung in der regenerativen Stromerzeugung sowie in der Kraft-Wärme-Kopplung hat in den zurückliegenden Jahren in zunehmendem Maße ermöglicht, dass sich Unternehmen, kommunale Einrichtungen und private Haushalte kostengünstig selbst mit Strom versorgen können.

Mit dem Ausbau der Eigenstromversorgung ist eine Vielzahl positiver Effekte für eine kosteneffiziente Umsetzung der Energiewende im Land verbunden. So steigert die Eigenstromversorgung die regionale Wertschöpfung, führt zu einem sinkenden Bedarf an Energieträgerimporten und trägt zu einer Reduktion der Netzausbaukosten auf der Übertragungs- und Verteilnetzebene bei, da der Strom vor Ort erzeugt und verbraucht und dadurch der sonst notwendige Stromtransport über große Distanzen vermieden wird.

Die industrielle Eigenstromerzeugung, die zu ca. 95% in KWK-Anlagen erfolgt, ist für Rheinland-Pfalz von herausragender Bedeutung. Die rheinland-pfälzischen Unternehmen haben in den zurückliegenden

Jahren bereits in großem Maße in diese klimafreundliche, flexible und hocheffiziente Strom- und Nutzwärmeerzeugung investiert.

Die industrielle Eigenstromerzeugung hatte in Rheinland-Pfalz in 2019 einen Anteil an der Gesamtstromerzeugung von ca. 35%, am Gesamtstromverbrauch des Landes von ca. 26% sowie am Stromverbrauch der Industrie von ca. 51%.

Allerdings ist das fossile Erdgas mit einem Anteil von über 90% heute noch der wesentliche Energieträger für die industrielle Eigenstromerzeugung. Für die notwendige Dekarbonisierung der Industrie, um die Klimaschutzziele des Landes, des Bundes und der EU zu erreichen, muss das Erdgas in den kommenden Jahren zunehmend durch regenerativ erzeugte Brennstoffe ersetzt werden. Klimafreundliche Alternativen zu Erdgas in der industriellen Eigenstromerzeugung stellen insbesondere biogen erzeugte Gase (Biogas, Bio-Methan) sowie klimaneutral erzeugter Wasserstoff dar.

Darüber hinaus gewinnt der Bezug und Verbrauch von Strom aus eigenen Erneuerbaren-Energien-Anlagen für Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes zunehmend an Bedeutung, beispielsweise um fossile Energieträger in der Prozesswärmeerzeugung durch eigenerzeugten regenerativen Strom zu ersetzen.

Wenn unsere Bürgerinnen und Bürger, unsere Kommunen sowie unsere Unterneh-

men ihren Strom selbst erzeugen und verbrauchen, erhöht das auch die Akzeptanz für die Energiewende, da sie als neue energiewirtschaftliche Akteure einen aktiven Beitrag zum Aufbau einer regenerativen und hocheffizienten Stromversorgung leisten können und so zu wichtigen Treibern dieses Transformationsprozesses werden. Daher setzt sich das Land bereits seit Jahren auf Bundes- wie auch EU-Ebene aktiv dafür ein, dass die Eigenstromerzeugung auf der Basis regenerativer Brennstoffe sowie die regenerative Direktstromnutzung außerhalb der EEG-Förderung von allen staatlich induzierten Preisbestandteilen befreit werden.

Neben der industriellen Eigen- und Direktstromerzeugung hat die rheinland-pfälzische Landesregierung insbesondere die Eigenstromnutzung durch PV-Anlagen auf privaten Wohnhäusern sowie kommunalen und gewerblich genutzten Gebäuden beispielsweise durch die Förderung von PV-Batteriespeichern im Rahmen des Solar-Speicher-Programms (siehe auch Kapitel 3.9) unterstützt. Auch Mieterstrommodelle, bei denen die Eigenstromerzeugung im eigenen Wohngebäude die Energiekosten für Mieter dauerhaft senkt, können einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, dass auch Mieter von der Energiewende finanziell profitieren.

3.2 Netzausbau und Entwicklung der Energieinfrastruktur

Netzausbau auf der Übertragungsnetzebene

Bis 2022 werden die deutschen Kernkraftwerke schrittweise außer Betrieb genommen und diverse konventionelle Kraftwerke stillgelegt. Der Ausbau der Verbindungen zu unseren europäischen Nachbarn wird verstärkt, um Versorgungssicherheit über die Staatsgrenzen zu ermöglichen. Diesen Wandel zeichnet das Stromnetz nach. Dazu gibt es zwei zentrale Gesetzesvorhaben, die die konkreten Ausbauprojekte vorgeben und das Land Rheinland-Pfalz betreffen.

Im Jahr 2009 wurde das Gesetz zum Ausbau von Energieleitungen (EnLAG) verabschiedet. Das EnLAG listete ursprünglich 24 Ausbauprojekte auf und stufte sie als notwendig für die künftige Energieversorgung in Deutschland ein. In der Landesfläche Rheinland-Pfalz wurde der festgestellte Ausbaubedarf inzwischen weitgehend umgesetzt.

Das Bundesbedarfsplangesetz stellt seit 2013 für die darin enthaltenen Vorhaben die energiewirtschaftliche Notwendigkeit und den vordringlichen Bedarf zur Gewährleistung eines sicheren und zuverlässigen Netzbetriebes fest. Vier Vorhaben waren zuletzt für die Landesfläche Rheinland-Pfalz relevant. Dies sind eine Gleichstromverbindung zwischen Osterath und Philippsburg sowie

drei neue 380 kV-Wechselstromsysteme jeweils in bestehenden 220-kV-Trassen zwischen Bürstadt (Hessen) und Ludwigshafen, zwischen Aach (Trier) und Bofferdange in Luxemburg und zwischen Metternich (bei Koblenz) und Niederstedem (nördlich von Trier).

Aufbau intelligenter Netzstrukturen auf der Verteilnetzebene

Bereits heute übertreffen die installierten Leistungen der Erneuerbaren Energien (EE) Anlagen in Rheinland-Pfalz die Spitzennachfrage. In Zeiten mit viel Wind und viel Sonne erzeugen die Anlagen dann mehr Strom als zeitgleich in Rheinland-Pfalz vollständig verbraucht werden kann. Dies ist der Ausgangspunkt für eine hochinnovative Entwicklung. Das Verteilnetz der Zukunft muss deshalb hoch flexibel auf kurzfristig auftretende Änderungen beim Energieangebot und Energiebedarf reagieren. Die intelligente Verknüpfung der Verbrauchssektoren Strom, Wärme und Mobilität muss dafür sorgen, diese Flexibilität bereitzustellen. Diese ist zudem Voraussetzung, um die Energiewende auch im Wärme- und Mobilitätsbereich weiter voranzubringen und gesetzte Klimaschutzziele zu erreichen. Hier kommt intelligenten Messsystemen, Smart Meter, eine wichtige Rolle zu. Auch die Rolle des Letztverbrauchers verändert sich

durch eigene Erzeugungsanlagen und durch Vorhaltung von Speichern zum Produzenten und Verbraucher, dem „Prosumer“. Unterstützt durch die Digitalisierung soll der Prosumer auf Preissignale reagieren und sein Verbrauchs- und Einspeiseverhalten entsprechend anpassen und damit eine aktive Rolle im regenerativen und dezentralen Energiesystem einnehmen.

Entwicklungsziel ist ein weitgehend automatisiertes Energieversorgungssystem, das die sich verstärkende Dynamik, Flexibilität und Komplexität der Energieversorgung beherrschbar macht. Dieses setzt einerseits Methoden, Verfahren und IKT-Komponenten voraus, um die informations- und energietechnischen Komponenten eines Gesamtsystems zu integrieren und zu koordinieren und benötigt andererseits die Entwicklung marktrelevanter Anwendungen, die die gewonnenen Erkenntnisse der energiewirtschaftlichen Praxis zuführen.

Maßnahmen und Projekte im Land Rheinland-Pfalz

Es wurden und werden im Land verschiedene Modellprojekte zur technischen Entwicklung und Markteinführung von intelligenten Netzstrukturen und Speichertechnologien mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Union, des Bundes und des Landes Rheinland-Pfalz durchgeführt.

- In dem Projekt Designetz im Rahmen des Förderprogramms „Schaufenster intelligente Energie – SINTEG)“, welches die

Bundesländer NRW, Saarland und Rheinland-Pfalz übergreift, sind zwischen 2017 und 2021 skalierbare Lösungen auf Basis von hohen Anteilen erneuerbarer Energien erarbeitet worden. So wurden Blaupausen für das dezentrale Stromnetz der Zukunft entwickelt, in dem mit einem Minimum an Netzausbau die erneuerbaren Energien in das Energiesystem integriert werden können. Rheinland-Pfalz bietet dazu das geeignete Umfeld, die Interaktion nahe zusammenliegender Regionen mit hohen Erzeugungsüberschüssen aus erneuerbaren Energien mit urbanen Lastzentren zu untersuchen. Diese Situation ermöglicht hohen regionalen Eigenverbrauch.

- Die Stadtwerke Trier (SWT) realisieren das Infrastrukturprojekt „Regionales Verbundsystem Westeifel“. Neben der energetischen Optimierung und Erhöhung der Versorgungssicherheit der Trinkwasserversorgung werden in diesem Projekt durch Mitverlegung anderer Medien Synergien generiert. Dabei wird regional erzeugtes Biogas über ein Rohgasnetz eingesammelt und an zentraler Stelle auf Erdgasqualität aufbereitet und als Biome than ins Erdgasnetz eingespeist werden.
- Im Energiepark Mainz wird seit 2015 in einer Power-to-Gas Anlage (6 MW) Wasserstoff durch innovative PEM-Elektrolyse aus regionalem Windstrom erzeugt.

- Im Forschungsvorhaben Smart Country im Eifelkreis Bitburg-Prüm wird mit intelligenter Netztechnik, einem Speicher auf Basis Biogas und innovativen Betriebsmitteln erarbeitet, wie Energieversorgung gerade im ländlichen Raum gestaltet werden kann. Hier ist das Profil einer typischen ländlichen Versorgungssituation von morgen heute schon gegeben.
- Mit der „Zukunftsinitiative Smart Grids“ begleitet und unterstützt das Land die flächendeckende Einführung von intelligenten Netzen sowie von intelligenten Netzmanagementsystemen unter Einbindung von Wirtschaft und Kommunen. Die „Zukunftsinitiative“ bietet Erstinformationen zu den Nutzungsmöglichkeiten intelligenter Netztechnik, zur Verbrauchssteuerung, zur wirtschaftlichen Nutzung von Flexibilität im Energieverbrauch sowie zur Einbindung von Eigenstromerzeugungsanlagen und innovativer Energiespeicherlösungen in virtuellen Kraftwerken.

Aktuelle Studien

Pilotprojekt Dezentralisierung - Stärkere Dezentralisierung des bundesdeutschen Strom-Wärme-Systems: Rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen sowie infrastrukturelle Folgen 2/2021

Das deutsche Energiesystem wandelt sich. Der Ausbau erneuerbarer Energien führt dazu, dass nicht mehr wenige Großkraft-

werke Strom und Fernwärme erzeugen, sondern immer mehr kleinteilige und häufig auch verbrauchernahe Stromerzeugungsanlagen. Bürgerinnen und Bürger können sich dadurch finanziell am Energiesystem beteiligen. Damit diese Entwicklung dem Gesamtsystem nutzt, sollte sie entsprechend angepassten Regeln folgen. Denn am Ende soll ein kosteneffizientes, versorgungssicheres, erneuerbares und gerechtes Strom-Wärmesystem stehen. Forschende vom Öko-Institut haben zusammen mit den Partnern Energynautics und der Stiftung Umweltenergierecht in einer Studie anhand von Rheinland-Pfalz typischen Versorgungssituationen für das Klimaschutzministerium Rheinland-Pfalz analysiert, wie diese aussehen müssten. Als Ergebnis haben sie 15 „Leitplanken“ formuliert, die als politische Instrumente eingesetzt werden können. Die Studie zeigt positive Effekte einer Dezentralisierung, aber auch ihre Grenzen. Auch bei steigender Dezentralisierung von Stromerzeugung und Flexibilitätsoptionen sollte eine zentrale Optimierung beibehalten werden, um einen ineffizienten Ausbau und Einsatz von Erzeugungs- und Speichertechnologien zu vermeiden. Zusätzliche dezentrale Elemente, wie z. B. Eigenverbrauch oder peer-to-peer Konzepte, können jedoch sinnvoll in die zentrale Optimierung eingebunden werden. Deren Entwicklung muss durch eine Reihe von legislativen Maßnahmen unterstützt werden.

3.3 Energieeffizienz und Energieeinsparung, Beratungsangebote für private Haushalte, Wirtschaft und Kommunen in Rheinland-Pfalz

Energieagentur Rheinland-Pfalz



Energiewende und Klimaschutz verfolgen das Ziel, die durch anthropogene Treibhausgase verursachte Erderwärmung so zu begrenzen, dass sich die Erderwärmung auf 1,5°C im Vergleich zum industriellen Zeitalter begrenzt.

Die Bundesregierung und die Länder setzen dafür die verbindlichen Ziele, Rahmenbedingungen und Förderinstrumente. Bei der Umsetzung von konkreten Energiewende- und Klimaschutzmaßnahmen sind aber vor allem Kommunen, Unternehmen und Bürgerinnen und Bürger gefordert. Die Energieagentur Rheinland-Pfalz leistet durch ihre Beratung und konkrete Unterstützung von Kommunen, KMUs und Landesregierung einen wesentlichen Beitrag, Projekte und Prozesse zu initiieren und zu begleiten, die die Klimaschutzziele des Landes erst ermöglichen. Dabei strebt die Landesenergieagentur weiterhin an – wie schon 2017 und 2019 – eine Spitzenposition mit ihrem Beratungsangebot für die

rheinland-pfälzischen Kommunen und Unternehmen im Vergleich der Bundesländer⁶ einzunehmen.

Die Landesenergieagentur versteht sich als ein wesentlicher Unterstützer und Koordinator für Klimaschutz und Energiewende. Mit ihren rund 80 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Zentrale in Kaiserslautern und den acht Regionalbüros sorgt sie für den notwendigen Wissenstransfer und die Vernetzung der zu beteiligenden Partner und stimuliert gezielt die Klimatransformation in Rheinland-Pfalz. Dafür stellt die Energieagentur Rheinland-Pfalz auch standardisierte Instrumente und Lösungen in den Bereichen Energieeinsparung, Energieeffizienz und -management, nachhaltige Mobilität und erneuerbare Energien zur Verfügung und bringt ihre Kompetenzen bei der Entwicklung und Umsetzung von Strategien und Maßnahmen mit ein. Dem Monitoring und Klimaschutzcontrolling kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, denn eine gezielte Projektsteuerung und transparente Erfolgskontrolle ermöglichen erst effizienten Klimaschutz und erlauben zeitnahe Strategieänderungen – falls notwendig. Der Energieatlas Rheinland-Pfalz und

⁶ Vergleich der Bundesländer: Analyse der Erfolgsfaktoren für den Ausbau der Erneuerbaren Energie (2017 und 2019), Endbericht, Hrsg.: DIW Berlin, ZSW, AEE.

das Projekt „Kommunale Treibhausgas-Bilanzierung und regionale Klimaschutzportale in Rheinland-Pfalz“ (KomBiReK) sind dazu landesweit etablierte Angebote.

Die Fördermittelberatung der Energieagentur Rheinland-Pfalz eröffnet für Kommunen neue finanzielle Perspektiven für die Umsetzung von Energiewende- und Klimaschutzprojekten. Bund, Land und EU stellen Städten, Gemeinden, kommunalen Trägern und Unternehmen jährlich Milliardenbeträge für die Umsetzung von Projekten zur Verfügung. Die Fördermittelberatung der Energieagentur Rheinland-Pfalz erhöht die regionale Wertschöpfung, indem Fördermittel gezielt ins Land geholt und damit Maßnahmen initiiert und ermöglicht werden. Konkrete Klimaschutzprojekte werden so mithilfe von lokalen und regionalen Unternehmen umgesetzt, was zur Prosperität des Landes beiträgt; denn Klimaschutz bedeutet zugleich Wertschöpfung und Wirtschaftswachstum.

Im Zeitraum zwischen 2016 und 2020 hat die Energieagentur Rheinland-Pfalz über ihre Projekte und Services fast 30 Millionen Euro an Fördermitteln im Land akquiriert. Mit diesen Mitteln wurden im selben Zeitraum Investitionen in Höhe von geschätzten 87 Millionen Euro ausgelöst. Durch die umgesetzten Maßnahmen konnten mehr als 160.000 Tonnen CO₂ eingespart werden. Das zeigt: Klimaschutz und Energiewende ermöglichen Zukunftschancen für Rheinland-Pfalz!

Die Energieagentur Rheinland-Pfalz wurde 2012 als landeseigene Gesellschaft gegründet und finanziert sich vorwiegend aus Haushaltsmitteln des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität (MKUEM) sowie über Bundes- und EU Drittmittelprojekte.

Energieberatung durch die Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz

verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz

Bei der Beratung privater Haushalte hinsichtlich der Nutzung von Einsparpotenzialen und erneuerbarer Energien im Gebäudereich ist die Verbraucherzentrale seit vielen Jahren ein Partner der Landesregierung. Das Angebot einer persönlichen Energieberatung in 70 Beratungsstandorten wird vom Bundeswirtschaftsministerium finanziell unterstützt und stand den Bürgerinnen und Bürgern in Rheinland-Pfalz durch eine zusätzliche Förderung des Landes kostenfrei zur Verfügung. Darüber hinaus wurden vom MKUEM seit vielen Jahren weitere Projektbausteine bei der Verbraucherzentrale gefördert.

Im Folgenden werden statistische Angaben für den Zeitraum 2018-2020 gemacht.

Die inhaltlichen Arbeitsschwerpunkte werden für 2019 und 2020 aufgeführt. Das Jahr 2018 wurde bereits im letzten Energiebericht dargestellt.

Persönliche Energieberatung in RLP durch Honorarenergieberater*innen

Von 2018 bis 2020 konnten insgesamt 11.655 persönliche Energieberatungen in rund 70 Standorten in Rheinland-Pfalz kostenlos durchgeführt werden. Hinzu kamen 3.855 Energie-Checks vor Ort.

Sonderaktionen im Rahmen der Energieberatung im Jahr 2019

Eignungs-Checks für den Einsatz erneuerbarer Energien in Privathaushalten

Seit 2019 wird ein spezielles Format – der so genannte Eignungs-Check-Solar - angeboten. Im Zuge eines Vor-Ort-Besuchs wird dabei geprüft, ob die Rahmenbedingungen in einem Bestandsgebäude den Einsatz von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in Form von Thermischen Solaranlagen und Fotovoltaikanlagen leicht ermöglichen. Landesweit wurden im Projektzeitraum trotz der Coronakrise rund 400 Eignungs-Checks-Solar durchgeführt.

Aktion „Heizung mit Zukunft“

Aufgrund der deutlichen Verbesserung der Förderprogramme insbesondere für den Austausch von alten Heizungsanlagen hat sich die Nachfrage in der Energieberatung deutlich gesteigert. Insbesondere das Thema Heizungserneuerung steht seit Beginn 2019 im Vordergrund. Es wurde für diese Aktion ein Excel-Tool erstellt, um die Gesamtkosten von neuen Heizungsanla-

gen unter Berücksichtigung der Förderprogramme und des inzwischen eingeführten CO₂-Preises einschätzen zu können. Mit Hilfe eines Datenbogens, der von den Hausbesitzern ausgefüllt wurde, erfolgte eine Auswertung, die elektronisch versandt wurde und bei Bedarf eine anschließende telefonische Erläuterung der Ergebnisse. Im Rahmen der Aktion wurden uns insgesamt 524 ausgefüllte Datenbögen zugesandt und anschließend ausgewertet.

Aktion „Wie kommt die Sonne in den Tank“

Neben dem Trend hin zum Einbau von Batterie-Speichern kommt bei den (potenziellen) PV-Anlagen-Betreibern auch mehr und mehr die Nutzung des selbst erzeugten Stroms im eigenen Elektro-Auto oder im E-Bike in den Fokus. Im Rahmen der Aktion wurde das bereits vorhandene Excel-Tool erweitert, um die Nutzung eines E-Mobils abbilden zu können. Gleichzeitig wurde eine Infobroschüre zum Thema erstellt. Auf der Homepage wurde eine eigene Aktionsseite dazu dargestellt. Damit konnte der Anteil der Energieberatungen, die sich mit Fotovoltaik beschäftigen gegenüber dem Vorjahr fast verdoppelt werden.

Sonderaktionen im Rahmen der Energieberatung im Jahr 2020

Thermografiespaziergänge

Zu diesem Format können sich interessierte Hausbesitzer anmelden, die gerne im Rahmen eines Abendspaziergangs eine

erste Bewertung ihres Gebäudes mit Hilfe einer Thermografieaufnahme erhalten wollen. Häufig werden bei einer anschließenden Zusammenkunft (analog oder digital) die Möglichkeiten und Grenzen von Thermografieaufnahmen diskutiert. Es wurden insgesamt 23 Thermografiespaziergänge mit 234 Teilnehmern gemeinsam mit örtlichen Kooperationspartnern (Klimaschutzmanager*innen etc.) durchgeführt.

Aktion „Strom vom Balkon“

Auch hier wurde mit Hilfe eines Excel-Tools und nach Erfassung individueller Daten der Ratsuchenden mit Hilfe eines Datenbogens eine Auswertung über Ertrag und Wirtschaftlichkeit von kleinen PV-Balkon-Anlagen vorgenommen. Hauptzielgruppe waren dabei Mieter und Eigentümer von Wohnungen in Mehrfamilienhäusern, die nicht die Möglichkeit haben, eine PV-Anlage auf dem Dach zu betreiben. Im Rahmen der Aktion wurden uns insgesamt 222 ausgefüllte Datenbögen zugesandt und anschließend ausgewertet. Unter allen Teilnehmern wurden 5 Gutscheine im Wert von maximal 500 Euro für die Anschaffung eines Stecker-Solar-Geräts mit einer maximalen Leistung von 600 W verlost.

Seminare

Es wurden insgesamt 10 Seminare mit insgesamt 191 Teilnehmern zu den Themen „Altbaumodernisierung - das Energiesparhaus im Bestand“ sowie „Das Ziel beim

Neubau: Energiespar- und Passivhäuser“ durchgeführt.

Energierechtsberatung

Das Themenspektrum in der Energierechtsberatung reicht von Vertragsfragen über Probleme mit der Abrechnung oder beim Wechsel des Energieversorgers bis hin zur Prüfung von Verträgen zur Versorgung mit Fernwärme oder Flüssiggas. Von 2018 bis 2020 wurden insgesamt 987 persönliche/schriftliche und 1.493 telefonische Energierechtsberatungen durchgeführt sowie 285 Heizkostenabrechnungen überprüft.

Markt-Check Hausanschlusskosten Strom und Gas

Die Verbraucherzentrale hat im Juni und Juli 2019 die Netzanschlusskosten für die Erdgas- und Stromversorgung in Rheinland-Pfalz in den Blick genommen.

Die Preisunterschiede für den Anschluss eines Gebäudes an das Strom- und Erdgasnetz in Rheinland-Pfalz sind immens. Dies hat diese Untersuchung ergeben. Je nach Region liegen die Kosten für einen Gasanschluss zwischen 300 und rund 3.600 Euro - bei einer Leitungslänge von zehn Metern zwischen der Hauptleitung in der Straße und dem Hausanschluss. Bei den Anschlusskosten für Strom bewegt sich die Preisspanne zwischen null und 2.300 Euro.

Auswertung zu geprüften Wärmelieferverträgen bei Neubauten

In manchen Neubaugebieten können Bauherren nicht frei wählen, ob sie ihr Haus mit Gas, einer strombetriebenen Wärmepumpe, Holzpellets oder einem anderen Energieträger beheizen möchten. Die Wärmeversorgung übernimmt in diesen Gebieten der Bauträger selbst oder ein Tochterunternehmen des Bauträgers mittels eines Heiz(kraft)werks. Bauherren oder Immobilienkäufer müssen beim Hauskauf neben dem Kaufvertrag für das Haus zusätzlich einen Nahwärmevertrag für die Energieversorgung abschließen.

Es wurden 32 Verträge dieser Art geprüft.

Die wesentlichen Ergebnisse:

Vor allem der Grundpreis, aber zum Teil auch der Arbeitspreis in der Wärmeversorgung ist hoch. Der Immobilienpreis wird dadurch jedoch nicht unbedingt günstiger. Sind die Investitionskosten der Anlage refinanziert, wird der Wärmepreis für die Bewohner nicht neu ermittelt.

Marktrecherche zu öffentlichen Ladesäulen für E-Mobilität

In Mainz wurde ein Marktcheck zu öffentlich zugänglichen Ladesäulen für Elektroautos durchgeführt. Ziel war es herauszufinden, ob der Preis und der Vertragspartner für den potentiellen Ladesäulennutzer gut zu erkennen sind.

Die wesentlichen Ergebnisse:

An 53 überprüften Ladesäulen für Elektroautos in Mainz ist auf Anhieb weder der Strompreis noch der jeweilige Vertragspartner zu erkennen.

Die Verbraucherzentrale fordert das Einhalten der Preisangabenverordnung und mehr Transparenz bei öffentlichen Ladesäulen für Elektrofahrzeuge.

Vertragspartner für den Kauf von Ladestrom müssen für die Verbraucher klar erkennbar sein.

Die Gesamtzahl aller Verbraucherkontakte im Energiebereich beläuft sich für die Jahre 2018 bis 2020 auf 44.182. Diese Zahl schlüsselt sich wie folgt auf: 27.000 persönliche/schriftliche Beratungen, 10.832 Telefonanfragen, 6.350 Teilnehmer bei Vorträgen und Seminaren.

Beratung einkommensschwacher Haushalte

Bisher standen technische, wirtschaftliche und energierechtliche Aspekte der Energiewende im Vordergrund, nun rücken zunehmend Fragen zur sozialverträglichen Gestaltung der Energiewende in den Fokus, etwa wie einkommensschwache Haushalte an der Energiewende partizipieren können und wie Strom und Heizkosten für sie bezahlbar bleiben. Nach Angaben der Verteilnetzbetreiber wurden 2020 in Deutschland mehr als 230.000 Haushaltskunden der Strom abgestellt. In Rheinland-Pfalz wurde

im Jahr 2020 bei 8.948 Haushalten die Stromversorgung unterbrochen.⁷

Projekt „Energiearmut vorbeugen - Energiekostenberatung“

Das Projekt „Energiearmut vorbeugen - Energiekostenberatung“ der Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz wird seit 2013 aus Landesmitteln gefördert. Die Energiekostenberatung wurde speziell für einkommensschwache Haushalte entwickelt, die Schwierigkeiten haben, ihre Energierechnung zu zahlen. Diese mehrstufige systemische Beratung reicht dabei von der Mediation zwischen Kunde und Energieversorger über die technische Energieeinsparberatung bis hin zur Energierechtsberatung. Die Beratung wird in Mainz, Kaiserslautern, Koblenz, Ludwigshafen, Pirmasens, Trier, Wittlich, Worms, Kirchheimbolanden und Kusel angeboten. Seit der Coronapandemie wurde die Beratung um ein landesweites telefonisches Angebot erweitert.

Ergebnisse des Projektes zeigen, dass bei der Entstehung von Energieschulden verschiedenste Ursachen wirksam sind, die sich wechselseitig bedingen. Neben der

strukturellen Benachteiligung wie bspw. Energiepreise, Einkommen und Energieverbrauch, findet sich auf der individuellen Ebene ein starker Einfluss schwer messbarer Größen wie persönliche Kompetenzen, gesundheitliche und sozial-psychologische Merkmale.⁸

Mit der Energiekostenberatung hat die Verbraucherzentrale zielgenau die Bedürfnisse der betroffenen Haushalte angesprochen. Auswertungsergebnisse zeigen, dass in knapp 60% der Beratungsfälle die Verbraucherzentrale erreichen konnte, dass bestehende Stromsperren aufgehoben wurden. Und in 70% der Fälle konnten angedrohte Stromsperren abgewendet werden. Gleichzeitig konnten für 85% der Betroffenen bessere Zahlungsmodalitäten erzielt werden wie z. B. Ratenpläne und Veränderungen der Abschläge. Durch die Optimierung von Tarif, Verbrauch und Budget wurde das Risiko erneuter Versorgungssperren für die betroffenen Haushalte verringert.⁹

⁷ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen; Bundeskartellamt (Hrsg.) (2021): Monitoringbericht 2021; Bonn

⁸ Kahlheber, A. (2016). Spielräume am Limit: Energiearmut in der systemisch lösungsorientierten Beratungspraxis der Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz – Ursachenkonstellationen und Beratungsansätze. In Energie und soziale Ungleichheit: Zur gesellschaftlichen Dimension der Energiewende in Deutschland und Europa (pp. 207–238). Wiesbaden: Springer VS.

⁹ Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz e.V. (Hrsg.) (2019): Allein, überlastet, energiearm? Ergebnisse der ersten landesweiten Auswertung der Energiekostenberatung der Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz Januar 2016 bis August 2018; Mainz



Effizienznetz Rheinland-Pfalz

- EffNet

Mit dem Effizienznetz Rheinland-Pfalz (EffNet - www.effnet.rlp.de) steht seit 2005 ein zentraler Ansprechpartner für Ressourceneffizienz, Energie und Umwelt zur Verfügung. Das Effizienznetz Rheinland-Pfalz basiert auf einer Initiative der Landesregierung und wird gemeinsam vom Landesamt für Umwelt (LfU, Federführung) und der Energieagentur Rheinland-Pfalz betrieben. Die in Rheinland-Pfalz zahlreich vorhandenen, nichtkommerziellen Informations- und Beratungsangebote zu Ressourceneffizienz, Energie und Umwelt werden in einem gemeinsamen Netzwerk mit über 40 Netzwerkpartnern gebündelt und einer breiten Öffentlichkeit bekannt gemacht. Auf der Homepage findet der Nutzer zahlreiche Informationen, aktuelle Hinweise, Rechtsvorschriften und Links. Zudem werden über das EffNet verschiedene praxisnahe Projekte im Bereich Ressourceneffizienz, Energie und Umwelt durchgeführt, die einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Projekt „EffCheck - Ressourceneffizienz in Rheinland-Pfalz“

Die Landesregierung fördert mit dem Projekt „EffCheck“ (www.effcheck.rlp.de) insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen sowie kommunale Betriebe, um durch die Analyse der Produktionsverfahren und -prozesse Einsparpotenziale beim Material- und Energieeinsatz und Möglichkeiten zur Reduzierung von Abfällen und Abwässern aufzuzeigen.¹⁰ In einem Maßnahmenplan erhalten die Betriebe Vorschläge für konkrete, Erfolg versprechende Maßnahmen. Das Land Rheinland-Pfalz fördert den EffCheck aktuell mit max. 70% der Beratungskosten bis zu einem Höchstbetrag von 5.200 Euro (netto).

¹⁰ Grundlage ist die Verwaltungsvorschrift des MUEEF vom 21. Februar 2019 zur Förderung von Betriebsberatungen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz.



Zum EffCheck Ecodesign wird aktuell eine Studie mit einer Pilotanwendung durchgeführt (aktuelle Informationen können unter www.effcheck.rlp.de entnommen werden).

Auf Basis der Ergebnisse der Gemeinschaftsstudie „Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale der digitalen Transformation für KMU des verarbeitenden Gewerbes“ wurde der „EffCheck - Industrie 4.0“ erarbeitet. Die Umsetzung der EffCheck-Maßnahmen wird flankiert durch die Investitions- und Strukturbank Rheinland-Pfalz (ISB) GmbH und speziell durch die beiden Investitionsförderprogramme des Wirtschaftsministeriums zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz (ERGU) und zur Implementierung betrieblicher Innovationen (IBI).

Das bewährte Förderinstrument EffCheck soll aktuell weiterentwickelt werden zum „EffCheck - Klimaneutralität“. Als neue Bausteine sind dazu eine Beratung hinsichtlich des Produktdesigns - „EffCheck Ecodesign“ - sowie der Geschäftsmodelle in Unternehmen angedacht, um den Unternehmen eine ganzheitliche und lebenszyklusübergreifende Unterstützung auf dem Weg zur Klimaneutralität anzubieten.

3.4 Versorgungssicherheit durch Flexibilisierung des Energieversorgungssystems

Windenergie und Fotovoltaik haben heute in Rheinland-Pfalz einen Anteil von über 81% an der regenerativ erzeugten Strommenge und von fast 94% an der installierten regenerativen Stromerzeugungsleistung. Der Ausbau der erneuerbaren Energien in Rheinland-Pfalz wird auch in den kommenden Jahren wesentlich durch den Ausbau der Windenergie und der Fotovoltaik getragen werden. Rheinland-Pfalz hat sich das energie- und klimaschutzpolitische Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2030 den Strombedarf bilanziell vollständig durch erneuerbare Energien zu decken. Dazu wird die Windenergie ca. zwei Drittel und die Fotovoltaik ca. ein Viertel beitragen.

Für den Wirtschaftsstandort Rheinland-Pfalz ist dabei von zentraler Bedeutung, dass auch in einem Stromsystem mit regenerativer Versorgung der Energiebedarf jederzeit zuverlässig gedeckt wird. Dabei gilt die zentrale Herausforderung, Stromerzeugung und -verbrauch stets in Einklang zu bringen und die im internationalen Vergleich sehr gute Stromversorgungssicher-

heit auch in einem vollständig regenerativen Energiesystem auf hohem Niveau zu gewährleisten. Trotz kontinuierlichem Ausbau der fluktuierenden Stromerzeugung konnte der SAIDI_{ENWG}-Gesamt-Wert (SAIDI: System Average Interruption Duration Index) mit 12,20 Minuten in 2019 einen neuen Minimalwert erreichen¹¹. Im Jahr 2006 lag der SAIDI-Wert deutschlandweit noch bei 21,53 Minuten. Im bundesweiten Vergleich liegt Rheinland-Pfalz bei der Stromversorgungssicherheit regelmäßig in der Spitzengruppe und nahm in den zurückliegenden zehn Jahren sogar sieben Mal die Spitzenposition ein.

Eine effiziente und weitestgehend vollständige Integration erneuerbarer Energien in sichere Versorgungsstrukturen erfordert die Flexibilisierung des gesamten Energiesystems. Wesentliche Optionen, die uns zur Flexibilisierung der Stromversorgung zukünftig verstärkt zur Verfügung stehen müssen, stellen neben dem Stromaustausch auf regionaler, nationaler und europäischer Ebene insbesondere die Flexibili-

¹¹ Bundesnetzagentur, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Versorgungsunterbrechungen/Auswertung_Strom/Versorgungsunterbrech_Strom_node.html

sierung des konventionellen Kraftwerksparks, die Identifizierung und Nutzung von Lastmanagementpotenzialen insbesondere in Industrie und Gewerbe, die Sektorenkopplung sowie die Energiespeicherung dar.

Anbieter von Flexibilität auf der Erzeugungs- und Nachfrageseite können auf dem Strommarkt und durch die Erbringung von Systemdienstleistungen Erlöse erwirtschaften. Die verschiedenen Flexibilitätsoptionen befinden sich dabei in einem direkten technologischen Wettbewerb zueinander.

Aktuell bilden die an den Strom- und Regelleistungsmärkten zu beobachtenden Preissignale in steigendem Maße Anreize für weitere Investitionen in Flexibilität. Mit einem zunehmenden Anteil an fluktuierender regenerativer Stromerzeugung wird zukünftig der Bedarf an Flexibilitäten weiter steigen, die wiederum ganz unterschiedliche Erfordernisse, u. a. hinsichtlich Leistung, Bereitstellungsdauer, aber auch Einsatzverfügbarkeit, erfüllen müssen. Es ist daher davon auszugehen, dass sich sehr unterschiedliche Flexibilitätsoptionen an den Märkten etablieren werden. Um sicherzustellen, dass für den jeweiligen Anwendungsfall zukünftig auch die kosteneffizienteste Flexibilitätsoption genutzt wird, sind technologieoffene und wettbewerbsverzer-

rungsfreie Entwicklungsmöglichkeiten sowie ein Level-Playing-Field hinsichtlich der Belastung mit staatlich induzierten Preisbestandteilen (z. B. Umlagen, Abgaben, Entgelte und Steuern) erforderlich.

Im Rahmen der Weiterentwicklung des aktuellen Strommarktdesigns sind weitere Anstrengungen geboten, günstigere Marktbedingungen für Flexibilität in der Stromversorgung zu schaffen. Ziel ist es, gemeinsam mit Vertretern der Energiewirtschaft, der Industrie und der Forschung den Bedarf an Flexibilität im Stromversorgungssystem zu diskutieren und die entsprechenden Marktmodelle für die notwendigen Flexibilitätsoptionen zu entwickeln.

Flexibilisierung des konventionellen Kraftwerksparks

Auch in einem vollständig regenerativen Stromversorgungssystem ist die Bereitstellung von gesicherter Kraftwerksleistung erforderlich, d. h. Stromerzeugungsleistung, die auch dann gesichert zur Verfügung steht, wenn über Tage oder Wochen die Stromeinspeisung aus Windenergie und Fotovoltaik sowie eine gegebenenfalls zwischengespeicherte Strommenge für die Deckung des Bedarfs nicht ausreichend sind. Diese gesicherte Kraftwerksleistung kann durch konventionelle Kraftwerke bereitgestellt werden. „Konventionell“ ist hier aber nicht mit „fossil“ gleichzusetzen, vielmehr sind diese Anlagen im Bedarfsfall in

einem regenerativen Stromversorgungssystem auch mit regenerativen Brennstoffen, wie z. B. Bio-Erdgas oder grünem Wasserstoff zu betreiben. Die bestehenden Stromerzeugungsanlagen sind ggf. auf regenerative Energieträger umzurüsten und auf die Leistungsbereitstellung und -absicherung als neues Geschäftsmodell auszurichten.

Im Bundesvergleich verfügt Rheinland-Pfalz über einen modernen, in einem weiten Bereich gut regelbaren und aufgrund eines hohen KWK-Anteils effizienten konventionellen Kraftwerkspark, aktuell im Wesentlichen auf der Basis von Erdgas. Entsprechend den Angaben des Statistischen Landesamts Rheinland-Pfalz¹² waren in 2019 in Rheinland-Pfalz fast 2.600 Erdgas-Stromerzeugungsanlagen mit einer elektrischen Netto-Nennleistung von insgesamt 2.250 MW sowie 326 Bioenergieanlagen mit einer elektrischen Netto-Nennleistung von insgesamt 162 MW an das Netz der allgemeinen Versorgung angeschlossen.

Allein mit diesem heute bereits installierten Anlagenpark lässt sich technisch die aktuelle Strom-Grundlast des Landes in einer Größenordnung von ca. 2 GW sicher abdecken.

KWK als Flexibilitätstechnologie

Der Begriff „Kraft-Wärme-Kopplung“ (KWK) bezeichnet die gleichzeitige Umwandlung von fossilen oder regenerativen Energieträgern in elektrische Energie und Nutzwärme in einer ortsfesten technischen Anlage. Kraft-Wärme-Kopplungs-Technologien nutzen im Vergleich zu einer getrennten Strom- und Wärmeerzeugung vorhandene Energieträger effizienter aus, schonen fossile und regenerative Ressourcen, verringern die spezifischen Treibhausgas- und Schadstoffemissionen bei der Strom- und Nutzwärmeerzeugung und leisten damit einen wichtigen Beitrag für den Klima- und Umweltschutz. Durch eine Nutzung der KWK können Gesamtwirkungsgrade in Höhe von bis zu 90% erreicht werden.

Im bundesweiten Vergleich gehört Rheinland-Pfalz im Jahr 2019 mit einem Anteil der KWK an der Nettostromerzeugung von ca. 39,5% sowie bezogen auf den Bruttostromverbrauch des Landes von ca. 28,6% zur Spitzengruppe innerhalb der deutschen Flächenländer. Der Anteil der KWK an der Nettostromerzeugung lag in 2019 bundesweit nur bei ca. 19,7%.¹³

Mit einem Anteil von ca. 91,5% wird überwiegend Erdgas als Brennstoff für die KWK-Stromerzeugung im Land eingesetzt. Der Verwendung regenerativer Energien in

¹² https://www.statistik.rlp.de/fileadmin/dokumente/berichte/E/4093/E4093_201900_1j_L.pdf

¹³ BMWi, Gesamtausgabe der Energiedaten – Gesamtausgabe, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt.xls.html>

KWK-Anlagen ist mit einem Anteil von 3,1% auf die KWK-Nettostromerzeugung bzw. 4,4% bezogen auf die KWK-Nettostrom- und -wärmerzeugung in 2019 aber immer noch vergleichsweise gering. Der Anteil der Industrie an der KWK-Stromerzeugung ist mit ca. 85% in 2019 auch im Bundesvergleich besonders hoch. Insbesondere die industrielle Eigenstromerzeugung, die zu 95% in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erfolgt, ist für die rheinland-pfälzische Wirtschaft von besonderer Bedeutung.

Das Land setzt sich bereits seit Jahren auf Bundesebene sowie auf der Ebene der Europäischen Union aktiv dafür ein, dass die Eigenstromerzeugung auf der Basis regenerativer Brennstoffe sowie der hocheffizienten Erdgas-KWK sowohl bei Neu- als auch Bestandsanlagen von allen staatlich induzierten Preisbestandteilen befreit werden.

Trotz des derzeit im Bundesvergleich hohen Ausbaustandes der KWK hat die rheinland-pfälzische Landesregierung in den vergangenen Jahren den weiteren Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung mit verschiedenen Maßnahmen weiter aktiv begleitet.

So unterstützt die Landesregierung sowohl fachlich als auch finanziell die jährlich an der TH Bingen stattfindende KWK-Impulstagung Rheinland-Pfalz, die sich in den zurückliegenden vierzehn Jahren als zentrale

Plattform für den Informations- und Erfahrungsaustausch zu allen KWK-relevanten Themen etabliert hat. Die KWK-Impulstagungen richten sich insbesondere an Ingenieurbüros, Architekten, Wohnungsgesellschaften, Handwerk und Gewerbe, Stadtwerke, Industrie, private Energieversorger, Contractoren, Hersteller von KWK-Technik, Installationsunternehmen sowie an Politikerinnen und Politiker und Fachleute aller Verwaltungsebenen.

Der aktuelle Koalitionsvertrag von SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP legt bei dem weiteren Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung einen wesentlichen Schwerpunkt auf die Nutzung von erneuerbaren Energien in hocheffizienten und flexiblen Anlagen in Kombination mit regenerativer Wärme sowie Power-to-Heat mit Wärmespeicherung (innovative KWK-Systeme) als wichtigen Beitrag zum Klimaschutz, zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudereich sowie zum Erhalt der Versorgungssicherheit bei einem zunehmenden Anteil an Windenergie und Fotovoltaik in der Stromerzeugung des Landes.

Lastmanagement in Industrie und Gewerbe

Insbesondere Industrie- und Gewerbebetriebe verfügen über zahlreiche, bislang weitgehend ungenutzte Möglichkeiten, den eigenen Stromverbrauch in gewissen Grenzen zu variieren, aber auch zeitlich zu

verschieben. Druckluftspeicher, Wasserhochbehälter, Wärmespeicher, aber auch Material- und Produktspeicher erlauben es, elektrische Großverbraucher, wie z. B. Mahlwerke, Pumpen oder Kompressoren erst dann zu benutzen, wenn die regenerative Stromerzeugung hoch, der allgemeine Stromverbrauch im Vergleich dazu gering und daraus resultierende Strompreise an der Börse niedrig sind. Im umgekehrten Fall können bei entsprechendem Speicherfüllstand elektrische Großverbraucher abgeschaltet werden, wenn wenig regenerativer Strom erzeugt wird, der Strombedarf aber hoch ist und die Strompreise an den Strommärkten ebenfalls entsprechend hoch sind.

Hieraus ergibt sich ein Erlöspotenzial für die Flexibilitätsvermarktung, die bereits heute in der Minuten- und Sekundärreserve, aber auch nach der Abschaltbare-Lasten-Verordnung (AbLaV) prinzipiell möglich ist. Entsprechend ausreichende Preisspitzen vorausgesetzt können flexible Lasten zukünftig auch direkt an der Strombörse, und hier insbesondere am Intraday-Strommarkt, zur Deckung der Residuallast vermarktet werden.

Somit können flexible Lasten bereits heute wirtschaftlich vorteilhaft zur Erbringung von Systemdienstleistungen für einen stabilen

Netzbetrieb oder generell zur Netzentlastung eingesetzt werden.

In der Verteilnetzstudie Rheinland-Pfalz¹⁴ aus dem Jahr 2014 wird das gesamte im Land nutzbare Lastmanagementpotenzial auf 350 bis 400 MW verfügbar für einen Zeitraum von bis zu 2 Stunden geschätzt.

Die Potenziale und die wirtschaftliche Nutzung vorhandener Lastmanagementpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben wurden von der Transferstelle Bingen mit Förderung des Energieministeriums in den Projekten VEVIDE / VEVIDE II¹⁵ untersucht. So konnte im Rahmen dieser Projekte in der industriellen Praxis vorhandene Lastflexibilitäten zu virtuellen Energiespeichern verknüpft und erfolgreich in der Minutenreserve vermarktet werden.

Sektorenkopplung

Die Sektorenkopplung, d. h. die Verknüpfung von Strom-, Wärme-, Gas- und Verkehrssektor, ist bereits seit langem ein fester Bestandteil unseres Energieversorgungssystems. Wesentliche Technologien für eine effiziente Sektorenkopplung sind bereits heute verfügbar und erfolgreich in der praktischen Anwendung.

Viele Sektorenkopplungstechnologien können als flexible Erzeuger, Verbraucher und

¹⁴ https://mkuem.rlp.de/fileadmin/mulewf/Themen/Energie_und_Strahlenschutz/Energie/Verteilnetzstudie_RLP.pdf

¹⁵ <https://www.tsb-energie.de/projekte/>

für Speicher eingesetzt werden und so einen systemdienlichen Beitrag zur Bereitstellung von Flexibilität für die Stromversorgung und den Netzbetrieb leisten. Beispiele für bestehende Verknüpfungen von Strom- und Wärmeversorgung sind u. a. die Erzeugung von industrieller Prozesswärme, z. B. durch Induktionsöfen in Eisengießereien, der Betrieb von Nachtspeicheröfen, Wärmepumpen oder Tauchsiedern. Verknüpfungen von Strom- und Verkehrssektor liegen bei elektrisch betriebenen Schienenfahrzeugen im ÖPNV, bei Pedelecs oder bei Elektrofahrzeugen vor. Power-to-Gas-Anlagen verknüpfen den Strom und Gassektor miteinander. Gas-KWK-Anlagen sind Beispiele für eine seit vielen Jahren in der Praxis etablierte hocheffiziente Verknüpfung von Strom-, Wärme- und Gassektor.

Während in der Vergangenheit elektrische Energie u. a. aus betriebswirtschaftlichen Gründen oder auf Grund prozesstechnischer Vorteile in anderen Verbrauchssektoren eingesetzt wurde, muss die Sektorenkopplung zukünftig einen stärkeren Beitrag zur Integration der erneuerbaren Energien in unser Energieversorgungssystem und zum Erreichen der Klimaschutzpolitischen Zielstellung, insbesondere im Wärme- und Verkehrssektor leisten. Dabei muss die Sektorenkopplung gezielt für eine zusätzliche Substitution fossiler Brennstoffe bzw.

Kraftstoffe im Wärme- und Verkehrssektor eingesetzt werden.

Damit keine relevanten Lock-in-Effekte zu einer längerfristig ineffizienten Nutzung von Strom und zu einem überdimensionierten Energiesystem führen, muss aber auch hier auf balancierte Anreize für den effizienten Einsatz von Strom geachtet werden.

Wesentliches Hemmnis für eine breite Anwendung der Sektorenkopplung besteht derzeit insbesondere in der geringen Wettbewerbsfähigkeit von Strom gegenüber fossilen Brennstoffen, wie z. B. Erdgas oder Heizöl. Als Folge der Belastung mit staatlich veranlassten Preisbestandteilen ist die Verwendung von Strom insbesondere im Wärmesektor mit Ausnahme von industriellen Sonderanwendungen in der Regel nicht ausreichend wirtschaftlich darstellbar. Die Einführung des Brennstoffemissionshandels und die damit verbundene Bepreisung von CO₂-Emissionen im Wärme- und Verkehrssektor sowie die Verwendung der Einnahmen aus dem Brennstoffemissionshandel zur Absenkung der EEG-Umlage haben die Wirtschaftlichkeit der Sektorenkopplung zwar verbessert, weitere Schritte einer Neuausrichtung der staatlich induzierten Preisbestandteile zur Flexibilisierung des Energiesystems sind aber erforderlich.

Energiespeicherung

Mit der Energiespeicherung steht eine weitere technische Option zur Flexibilisierung unseres Energieversorgungssystems zur Verfügung, die bereits heute in sehr unterschiedlichen Anwendungsfeldern genutzt wird. Energie kann in verschiedenen Form gespeichert werden, als Strom in klassischen Batteriespeichern oder Pumpspeicherkraftwerken, als Wärme in großvolumigen Warmwasserspeichern oder Latentwärmespeichern, aber auch als regenerativ erzeugte Gase als Produkt von Power-to-Gas- oder Biogas-Anlagen. Mit einer zunehmenden Sektorenkopplung werden auch die verschiedenen Energiespeicherarten stärker miteinander kombiniert werden.

In den zurückliegenden Jahren hat der Einsatz von PV-Batteriesystemen zur Erhöhung der Eigenstromversorgungsquote insbesondere in privaten Haushalten an Bedeutung gewonnen. Entsprechend den Daten des Marktstammdatenregisters waren zum 30. Juni 2021 bundesweit ca. 258.000 Batteriespeicher mit einer Leistung von ca. 1.270 MW installiert. Mit einer Anzahl von ca. 14.300 Systemen beträgt der Anteil von Rheinland-Pfalz an den deutschlandweit installierten PV-Speichern ca. 5,5%. Die in Rheinland-Pfalz installierten PV-Batteriesysteme weisen dabei eine Leistung von ca. 75 MW auf, was einem bundesweiten Anteil von 5,9% entspricht.

Für die Zeiten, in denen die Sonne nicht ausreichend scheint und der Wind nicht genug weht, die durchaus auch mal mehrere Wochen andauern können, sind Langzeitspeicher erforderlich, um die Versorgungssicherheit zu garantieren. Grüner Wasserstoff, der aus erneuerbarem Strom durch Elektrolyse erzeugt wird, aber auch die klassische Bioenergie ermöglichen die notwendige Langzeitspeicherung regenerativer Energie, die im Bedarfsfall möglichst energieeffizient rückverstromt werden sollte.

Zur Langzeitspeicherung regenerativ erzeugter Gase kann auch die bereits vorhandene Erdgasinfrastruktur nach entsprechender technischer Umrüstung und Umwidmung einen bedeutenden Beitrag leisten. Der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfachs (DVGW) schätzt bezogen auf Erdgas die Speicherkapazität der Gasleitungen und Gasspeicher in Deutschland auf ca. 230 Terawattstunden.

Da der technische Entwicklungsstand der verschiedenen Speichertechnologien noch sehr unterschiedlich ist, wurden im Land verschiedene Modellprojekte zur technischen Entwicklung und Markteinführung von Speichertechnologien mit finanzieller Unterstützung des Landes Rheinland-Pfalz durchgeführt. Zu diesen zählen u.a.: die Pilotanlage zur Methanisierung von Kohlendioxid mit Wasserstoff im Energiepark Pirma-

sens-Winzeln, die Modellprojekte „my-PowerGrid“ und „Green Power Grid“ des Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern, sowie die Unterstützung des Vereins StoREgio Energiespeichersysteme mit Sitz in Ludwigshafen.

Seit Oktober 2019 unterstützt das Land im Rahmen des Solarspeicherprogramms Investitionen von Privathaushalten und kommunalen Liegenschaften sowie Unternehmen, Vereinen und karitativen Einrichtungen in PV-Batteriespeichersysteme in Verbindung mit neuen PV-Anlagen. Das Förderprogramm ist Bestandteil der Solar-Offensive des Klimaschutzministeriums Rheinland-Pfalz. Insgesamt werden über fünf Millionen Euro für die Förderung von Solarspeichern bereitgestellt. Weitere Informationen zum Solarspeicher-Förderprogramm des Landes sind in Kapitel 3.9 sowie auf der Homepage der Energieagentur GmbH unter <https://www.energieagentur.rlp.de/service-info/foerderinformationen/solar-speicher-programm> verfügbar.

Weiterführende Informationen

In welcher Häufigkeit und welchem Umfang regenerativ erzeugte Stromüberschüsse und Unterdeckungen in Rheinland-Pfalz in den Jahren 2030, 2040 und 2050 auftreten werden und wie Flexibilitätsoptionen zu einer kosteneffizienten Nutzung dieser Stromüberschüsse sowie zum Ausgleich der Unterdeckungen genutzt werden können,

wurde im Auftrag des Landes im Rahmen der Flexibilitätsstudie Rheinland-Pfalz detailliert untersucht.

Im Ergebnis der Studie wurde gezeigt, dass auch vor dem Hintergrund des 100-Prozent-Erneuerbare-Energien-Ausbaus und der aktuellen Klimaschutzziele des Landes Erzeugungs- und Verbrauchsschwankungen wirtschaftlich sinnvoll ausgeglichen werden können. Hierfür wurden unterschiedliche Flexibilitätsoptionen in verschiedenen Verbrauchsbereichen untersucht. Gerade industrielle Prozesse, die Fernwärmeversorgung bis hin zum ÖPNV bieten erhebliche Potenziale, um Strom aus erneuerbaren Energien kosteneffizient zu nutzen und wichtige Beiträge zur Dekarbonisierung unserer Wirtschaft zu leisten.

Die Flexibilitätsstudie Rheinland-Pfalz, die im Auftrag des MKUEM von B E T GmbH und Wuppertal Institut erstellt wurde, ist unter <https://mkuem.rlp.de/de/themen/energie-und-strahlenschutz/energiewende-in-rheinland-pfalz/> abrufbar.

3.5 Mobilitätswende

Verkehrspolitische Grundsätze der Landesregierung

Die Steigerung der Energieeffizienz ist ein wichtiges Ziel rheinland-pfälzischer Verkehrspolitik. Der Weg dorthin führt über eine optimale Verknüpfung der Verkehrsmittel und den Umstieg auf innovative, aus regenerativ erzeugten Energien gespeiste Antriebe sowie die Weiterentwicklung der IuK-Technologien für energieeffiziente Verkehrsabläufe bis hin zu automatisierten Fahrweisen.

Um die Energieeffizienz im Verkehr zu erhöhen gilt es, für die Beförderung von Menschen und Gütern nach Möglichkeit Verkehrsmittel mit niedrigen spezifischen Energieverbräuchen zu nutzen.

Um die Energieeffizienz des motorisierten Straßenverkehrs deutlich zu steigern, werden geeignete Maßnahmen des Bundes zur Erhöhung des Anteils von Fahrzeugen mit innovativen Antrieben aus regenerativen Energien sowohl im Individualverkehr als auch im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) unterstützt. Im Land soll ein Schwerpunkt bei der Unterstützung von Forschung und Entwicklung sowie auf kommunalen Pilotprojekten für innovative Antriebe gesetzt werden. Mit Blick auf die Steigerung der Energieeffizienz im Verkehr gibt

es verkehrspolitische Schwerpunktsetzungen der Landesregierung insbesondere in den nachfolgenden Bereichen.

Öffentlicher Personenverkehr

Derzeit werden gemeinsam mit Zweckverbänden und Verkehrsverbänden regionale ÖPNV-Konzepte erarbeitet bzw. umgesetzt, um den ÖPNV auf der Straße zu stärken. In der Zukunft werden dabei mehr die Fahrzeuge mit alternativen Antrieben das Bild bestimmen. Auch im SPNV werden in der Zukunft energieeffiziente und klimaschonende Antriebe gefordert, um die Klimaschutzziele zu erreichen.

Ausbau des Straßennetzes, Verkehrstelematik und Verkehrsmanagement

Rheinland-Pfalz verfügt über eines der dichtesten Straßennetze der Bundesrepublik. Daher hat die Landesregierung sich bei der Neuanschaffung für den Bundesverkehrswegeplan 2015 auf den Erhalt vor Neubau festgelegt. Die Fahrtbedingungen auf den Straßen haben großen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch.

Mit dem Ausbau der Infrastruktur, modernen Mitteln der Verkehrstelematik und intelligenten Steuerungen können der Verkehr verflüssigt und Energie verbrauchende Staus vermieden werden. So erfordern Stop and Go-Situationen die doppelte

Kraftstoffmenge wie der störungsfreie Verkehrsfluss.

Im nachgeordneten Straßennetz werden verstärkt verkehrsabhängige Lichtsignalsteuerungen eingesetzt, die auch die Erfordernisse der klimafreundlichen Verkehrsträger (ÖPNV, Rad- und Fußverkehr berücksichtigen).

Bildung von Fahrgemeinschaften

In der Erhöhung der Besetzungsgrade der Pkw liegen noch erhebliche Effizienzpotenziale, mit denen nicht nur Minderungen beim Energieverbrauch des motorisierten Individualverkehrs, sondern auch erhebliche Kosteneinsparungen beim Nutzer verbunden sind. Hierzu hat das Land mit dem Bau von 145 Mitfahrerparkplätzen bereits einen wichtigen Beitrag geleistet. Weitere Projekte sind im Gang oder in der Planung.

Förderung des Car-Sharing-Systems

Jedes Car-Sharing Fahrzeug ersetzt zwischen 4 und 8 private Pkw und reduziert damit den Druck auf öffentliche und private Flächen für Pkw-Stellplätze. Car-Sharing ermöglicht nachhaltige Mobilitätslösungen. Zur Ergänzung der Parkprivilegien für stationsbasierte Carsharing-Fahrzeuge an Ortsdurchfahrten von Bundesstraßen erweitert das Land die Vorschriften zur Sondernutzung im Landesstraßengesetz auch für Landes-, Kreis, Gemeinde- und sonstige Straßen.

Förderung des Fahrradverkehrs

Das Land wird den Fahrradverkehr in Alltag, Freizeit und Tourismus weiter voranbringen. Auch im Sinne der Steigerung der Energieeffizienz im Verkehr wird die Landesregierung das Fahrrad als alltägliches Verkehrsmittel stärken und die Kommunen beim Ausbau ihrer Radinfrastrukturen noch besser unterstützen.

Dazu werden neue Radverkehrsteams beim Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz eingerichtet und so die Planungs-kapazitäten für den Radwegebau im Land sowie gleichzeitig das Beratungsangebot für die Kommunen zum Ausbau und der Förderung der kommunalen Radwege verbessert.

Insgesamt stehen im Jahr 2022 rund 18 Millionen Euro für den Radwegebau an Bundes- und Landesstraßen sowie zur Förderung der kommunalen Radwege zur Verfügung.

Das Land fördert den kommunalen Radwegebau derzeit mit bis zu 80 Prozent, Pendler-Radrouten mit bis zu 90 Prozent.

Das Landesstraßenbauprogramm enthält 28 Projekte zur Verbesserung der Radwegeinfrastruktur.

Für Radverkehrsprojekte in Rheinland-Pfalz stellt der Bund über das Förderprogramm „Stadt und Land“ 33 Millionen Euro bis einschließlich 2023 zur Verfügung. Hierüber können neben dem Radwegebau

auch Projekte wie Fahrradboxen, die Beleuchtung eines Weges oder Reparaturstationen gefördert werden.

Über das Programm „Radwege im ländlichen Raum“ in Rheinland-Pfalz konnten von 2020 bis 2022 in mehreren Förderaufrufen insgesamt 68 Radverkehrsprojekte mit insgesamt 11,4 Millionen Euro aus EU- und Landesgeld gefördert werden.

Hinzu kommen weitere Fördermöglichkeiten über den Bund sowie den Tourismussektor.

Ein zentrales Projekt des Landes und der beteiligten Kommunen zur Stärkung des Alltagsradverkehrs sind die sieben Pendler-Radrouten.

Beim Pilotvorhaben, der Pendler-Route Mainz-Bingen soll in 2022 ein rund 20 Kilometer langer Abschnitt eröffnet werden. Damit wird ein neues Angebot geschaffen, das Pendlerinnen und Pendlern ein zügiges und komfortables Radfahren ermöglicht.

Mobilitätsmanagement

Mit einem Pilotprojekt wird die Landesverwaltung ein nachhaltiges Mobilitätsmanagement unter Einbindung alternativer Antriebe, Car-Sharing, E-Bikes und Job-Tickets starten.

Mobilität und Tourismus

Die bisherigen und noch geplanten Weiterentwicklungen im SPNV und bei den regionalen Busverkehren wirken sich auch auf die Erreichbarkeit von touristischen Zielen

mit energieeffizienten öffentlichen Verkehrsmitteln positiv aus.

Ausbau der Containerumschlagterminals in den rheinland-pfälzischen Binnenhäfen

Rheinland-Pfalz verfügt mit seiner Lage an den Wasserstraßen Mosel und Rhein über ein logistisches Alleinstellungsmerkmal erster Güte. Der neue Bedarfsplan für die Bundeswasserstraßen sieht den Bau weiterer zweiter Schleusenammern im Zuge der Mosel und die Vergrößerung der Abladetiefe des Rheins zwischen St. Goar und Mainz/Wiesbaden vor.

Im kombinierten Verkehr auf der Wasserstraße sind starke Wachstumsraten zu verzeichnen; diesem wird mit einem kontinuierlichen Ausbau der Terminalkapazitäten Rechnung getragen. Die Landesregierung begrüßt insoweit die Ankündigung des Bundes, die finanzielle Förderung solcher Projekte in den kommenden Jahren fortzuführen. Davon werden auch Vorhaben in rheinland-pfälzischen Binnenhäfen profitieren. Zudem sollen die knappen Hafenumflächen landesplanerisch besser geschützt werden.

Dienstfahrzeuge der Landesverwaltung

Die Landesregierung hat beim Klimaschutz Vorbildfunktion. Daher haben wir uns im Landesklimaschutzgesetz zum Ziel gesetzt, die Landesverwaltung bis 2030 klimaneutral zu gestalten. Die „Leitlinie für die Elektromobilität in der Landesverwaltung Rheinland-Pfalz“ ist dabei ein wesentlicher

Schritt zur Zielerreichung. Damit stärken wir die klimafreundliche Mobilität der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Die Leitlinie wurde Anfang September 2019 im Ministerrat beschlossen.

Bei Neubauten und Gebäudesanierungen der Landesverwaltung verpflichtet sich die Landesregierung bei jedem fünften Parkplatz eine Lademöglichkeit für E-Autos sicherzustellen. Die benötigte Energie soll vorzugsweise aus selbst erzeugtem Strom bereitgestellt werden, der durch Fotovoltaikanlagen eingespeist wird. Auch bei Bestandsgebäuden sollen diese Infrastrukturmaßnahmen nach Möglichkeit sukzessive umgesetzt werden. Um die Fahrzeuge des Landes und die Dienstreisen in der Gesamtbilanz künftig klimaneutral zu organisieren, wollen wir Dienstwagen zudem ressortübergreifend bereitstellen und die Anschaffung von E-Autos erleichtern.

Autonom fahrender Kleinbus „Emma“

Im August 2018 hat die Mainzer Mobilität (MVG) erfolgreich einen autonomen elektrischen Kleinbus, „Emma“ auf einer Strecke von etwa 700 Meter am Mainzer Rheinufer getestet. Knapp 3.300 Fahrgäste (bis zu 200 Fahrgäste pro Tag) haben während 506 Fahrten das Angebot genutzt (Fahrstrecke gesamt ca. 800 km), die Kommentare und Erfahrungen waren überwiegend positiv. Das Land Rheinland-Pfalz hat das Projekt finanziell unterstützt.

Lotsenstelle alternative Antriebe

Mit dem Projekt „Lotsenstelle alternative Antriebe“ der Energieagentur Rheinland-Pfalz werden seit 2017 die rheinland-pfälzischen Kommunen, deren Einwohnerinnen und Einwohner sowie die dort ansässigen Unternehmen mit gezielten Informationen und Angeboten zum Thema alternative Antriebe bei ihren integrierten, strategischen Ansätzen zur Reduktion klimarelevanter Emissionen unterstützen. Weitere Informationen finden sich unter: <https://www.energieagentur.rlp.de/projekte/kommune/lotsenstelle-alternative-antriebe/>

Elektromobilität im ländlichen Raum – Entwicklung einer Pilotregion im Westerwald

Durch die Entwicklung eines ganzheitlichen Ansatzes und die Umsetzung geeigneter Maßnahmen im Bereich der Elektromobilität soll der Westerwald zu einer Pilotregion für den Einsatz der Elektromobilität im ländlichen Raum werden. Das von 2017 bis 2019 laufende Vorhaben „Elektromobilität im ländlichen Raum - Entwicklung einer Pilotregion im Westerwald“ der Energieagentur Rheinland-Pfalz zielte darauf ab, die Kommunen der Region, deren Bürgerinnen und Bürger sowie die dort ansässigen Unternehmen konzeptionell zu unterstützen und mit Projekten, gezielten Informationen und Angeboten zum Thema Elektromobilität die Nutzung alternativer Antriebe in der Region voranzubringen.

Netzwerk Elektromobilität Rheinland-Pfalz

Das Netzwerk Elektromobilität Rheinland-Pfalz bringt die relevanten Institutionen und Akteure im Bereich der Neuen Mobilität im Land zusammen. Es startete seine Arbeit bereits 2010, damals noch als Forschungsprojekt unter der Führung der Technischen Universität Kaiserslautern. Seit 2015 moderiert und organisiert die Energieagentur Rheinland-Pfalz das Netzwerk. Während der regelmäßigen Netzwerktreffen werden bspw. aktuelle Vorhaben und Erkenntnisse vorgestellt und im Kreis der Netzwerkteilnehmer diskutiert.

Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellenbusse

In einem Pilotprojekt zur Erprobung des Einsatzes von mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellenbussen beschaffen die Verkehrsgesellschaften der Städte Mainz (MVG) und Wiesbaden (ESWE Verkehr) derzeit 11 Fahrzeuge. Das Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten und das hessische Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung haben bei diesem zukunftsweisenden Projekt die Errichtung der Tankstelleninfrastruktur mit jeweils einer Mio. € gefördert.

Tankstelle 2.0

Das Institut für Mobilität und Verkehr (imove) und die Juniorprofessur für Elektro-

mobilität (JEM) der Technischen Universität Kaiserslautern erarbeiteten eine Strategie zur nachhaltigen Versorgung von Kraftfahrzeugen mit alternativen Antrieben. Ziel des Projektes war es, bestehende Ansätze zu verfeinern und eine Strategie, zum Aufbau einer Versorgungsinfrastruktur für alle alternativen Energieträger für das Jahr 2020 mit einem Ausblick auf 2030 und 2050 zu erarbeiten.

Die Ergebnisse der Untersuchung können unter

https://mueef.rlp.de/fileadmin/mulewf/Themen/Energie_und_Strahlenschutz/Energie/Abschlussbericht_Tankstelle_2_0.pdf

abgerufen werden.

Tankstelle 2.1

Aufbauend auf den Ergebnissen des Projektes Tankstelle 2.0 bearbeitet ein Konsortium der Technischen Universität Kaiserslautern, seit Herbst 2018 ein Forschungsprojekt mit dem besonderen Fokus auf der Netzintegration der Ladesäulen für Elektrofahrzeuge. Hierzu erarbeitet das Konsortium eine ganzheitliche Betrachtung der vollständigen Versorgungskette und Netzsituation von der großräumigen Stromversorgung bis zur Nutzung der einzelnen Ladesäule. Ziel ist es, in einzelnen exemplarischen Räumen die Hemmnisse aus Netzkapazität, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz zu beleuchten.

3.6 Energieforschung und Wissenstransfer (Schule, Forschung, Wissenschaft)

Energie in der Schulbildung

Die Beschäftigung mit Energiefragen ist von essentieller Bedeutung im Kontext der Bildung für nachhaltige Entwicklung und der MINT-Strategie, wie sie durch das Ministerium für Bildung in Zusammenarbeit mit vielen Partnern im Land gefördert und umgesetzt wird. Die Lehrpläne in den natur-, technik- und gesellschaftswissenschaftlichen Fächer wurden im Betrachtungszeitraum fortentwickelt und stellen vielfältige Bezüge zu den Aspekten Klimaschutz, Nachhaltigkeit, (erneuerbare) Energien und Energieeffizienz her.

Zur Umsetzung der Lehrplanvorgaben wurden im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung verschiedene Unterstützungsangebote bereitgehalten: Das Pädagogische Landesinstitut stellte Energiefahrräder oder Solarkoffer für schulischen Unterricht und fächerverbindende Projekte zur Verfügung, organisierte Lehrkräftefortbildungen zu Energie- und Klimafragen und die Energie-Kistensets der VRD-Stiftung zu Themen wie Licht, erneuerbare Energien und Klimaschutz finden an zahlreichen rheinland-pfälzischen Schulen Verwendung. Die BNE-Beratungsgruppe, beste-

hend aus teilabgeordneten Lehrkräften unterschiedlicher Schularten, arbeitet zudem serviceorientiert mit Schulen in Rheinland-Pfalz zusammen und setzt auch im Rahmen der Zertifizierung von „BNE-Schulen“ auf Handlungsfelder wie beispielsweise Öko-/Energiebilanz oder ressourcenschonende Schulverpflegung. Dieser Zielsetzung ist auch das neue, niederschwellige Auszeichnungsformat der „Nachhaltigen Schulen“ verpflichtet. Der dazugehörige Punktecatalog, der von Schüler/innen, Vertreter/innen von Verbänden, der Elternarbeit, Kommunen und weiteren Landesressorts im Rahmen der beiden Runden Tische „Schule. Nachhaltig. Gestalten.“ im Jahr 2019 entwickelt wurde, enthält ebenfalls den Anforderungsbereich Nutzung erneuerbarer Energien und Vorhandensein eines Energiesparkonzeptes. Zahlreiche Schulen konnten in den letzten beiden Jahren neu als BNE- und Nachhaltige Schule ausgezeichnet werden. Dies zeigt, dass der „Whole system approach“-Ansatz, wie er auch im „ESD for 2030“-Programm der Vereinten Nationen angelegt ist, in Rheinland-Pfalz Früchte trägt und die globalen Nachhaltigkeitsziele ernst genommen werden.

Im Berichtszeitraum wurden überdies zahlreiche Lehrkräftefortbildungen zu Themen wie „Projekt Solarboot“, „Lernen durch Lehren am Beispiel der erneuerbaren Energien“, „Mit Kindern erneuerbare Energien entdecken“ oder „Globaler Klimawandel und erneuerbare Energien im Unterricht“ durch das Pädagogische Landesinstitut angeboten.

Schulen in Rheinland-Pfalz profitierten überdies von weiteren innovativen pädagogischen Angeboten: So verfolgte die an zahlreichen Grundschulen durchgeführte „Kinderklimaschutzkonferenz“ das Ziel, die Schülerinnen und Schüler wirksam für Anliegen des Klimaschutzes und der Energieeffizienz zu sensibilisieren. Im Rahmen von Tagungen zur BNE und zum Globalen Lernen für Lehrkräfte und außerschulisch Bildende, die in Zusammenarbeit mit dem Pädagogischen Landesinstitut, dem Entwicklungspolitischen Landesnetzwerk und weiteren Partnern angeboten werden konnten, wurden zudem digitale Lernsettings zur Energiebildung, Möglichkeiten nachhaltiger Informationstechnik, das Planspiel „Keep Cool“, der „KlimaWandelWeg“ als mobile Lernwerkstatt für Schulen der Sekundarstufen I und II sowie kommunale Projekte zum Energiesparen an Schulen vorgestellt.

Rheinland-pfälzische Schulen nehmen ebenfalls rege an einschlägigen Wettbewerben teil und können mit ihren Energie-

und Klimakonzepten überzeugen: Hauptpreise errangen zum Beispiel beim „Energiesparmeister“-Wettbewerb von CO₂-Online und Bundesumweltministerium im Jahr 2018 das Gauß-Gymnasium Worms mit ihrem „Fairplayer“ und schuleigenen Umweltwettbewerb, 2019 das Otto-Hahn-Gymnasium Landau mit dem „Energieparcours“ und 2020 die Mannlich-Realschule plus Zweibrücken mit der eigens entwickelten Energiespar-App.

Energieforschung in rheinland-pfälzischen Hochschulen und Forschungseinrichtungen

Die Hochschulen und Forschungseinrichtungen in Rheinland-Pfalz sind für die Landesregierung wichtige Partner bei der Energiewende.

Die Energieforschung wird im Rahmen von Lehre, Grundlagenforschung und angewandter Forschung in unterschiedlichen technischen und naturwissenschaftlichen Bereichen geleistet. Die Hochschulen und Forschungseinrichtungen bringen Kompetenzen und Forschungsaktivitäten aus zahlreichen Wissenschaftsfeldern wie dem Maschinenbau, der Elektrotechnik, den Informationstechnologien, der Chemie, der Biotechnologie, den Materialwissenschaften oder der Mathematik ebenso ein wie aus dem Umweltrecht oder der Regionalstatistik.

Neben der Förderung durch private Unternehmen, Stiftungen sowie öffentliche Drittmittelgeber wie der EU, die Deutsche Forschungsgemeinschaft oder dem Bund mit seinem umfangreichen Energieforschungsprogramm fördert auch das Land Energieforschung in den Hochschulen und Forschungseinrichtungen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Hochschulen und Forschungseinrichtungen des Landes sind untereinander und mit Unternehmen regional und überregional vernetzt. Gemeinsam führen sie wertvolles Fachwissen in Querschnittsprojekten zusammen und entwickeln innovative Lösungsansätze für die großen Herausforderungen der Energieforschung.

Für das Gelingen der Energiewende werden gut ausgebildete Fachkräfte im Energiebereich benötigt, die neue Ideen aufnehmen, weiterentwickeln und zu zukunftsfähigen Produkten ausbauen. Die Hochschulen setzen daher einen Schwerpunkt auf die Ausbildung von Fachkräften und eine enge Zusammenarbeit mit der Wirtschaft, den Kammern und Verbänden.

Zahlreiche Forschungsschwerpunkte und Forschungszentren der Fachhochschulen, die im Rahmen der Forschungsinitiative des Landes gefördert werden, beschäftigen sich mit Fragen der Energieforschung z. B.

mit Themenstellungen, die dem Grundlagenverständnis energetischer Prozesse oder der Materialentwicklung dienen. Die komplexen Herausforderungen der Energiewende machen dabei in vielen Fällen eine interdisziplinäre Herangehensweise über Fächergrenzen hinweg notwendig.

Für die einzelnen Hochschulregionen sind in der Anlage (siehe Anhang) die Lehrstühle und Forschungsverbände genannt, die sich mit Fragestellungen aus der Energieforschung beschäftigen und die mit ihren vernetzten Projekten dazu beitragen, die Energiewende erfolgreich umzusetzen. Die angeführten Beispiele geben einen Eindruck über die breite thematische Aufstellung und die Vernetzung der Akteure.

3.7 Das Land als Vorbild

Energieversorgung im Kontext der Landes- und Regionalplanung

Landes- und Regionalplanung tragen zu einer sicheren und nachhaltigen Energieversorgung des Landes bei. Die Kernaufgabe dieser überfachlichen und überörtlichen gesamtträumlichen Planung ist die Umsetzung der Leitvorstellung einer nachhaltigen Raum- und Siedlungsentwicklung.

Sowohl das Landesentwicklungsprogramm (LEP IV) als auch die regionalen Raumordnungspläne orientieren sich am Leitbild einer sicheren, kostengünstigen, umweltverträglichen und Ressourcen schonenden Energieversorgung für Rheinland-Pfalz.

Die Raumordnungspläne enthalten zu verschiedenen Handlungsfeldern energierelevante raumordnerische Ziele und Grundsätze. Dabei kommt neben der Energieeinsparung, der effizienten Energieverwendung und der Stärkung der eigenen Energieversorgung vor allem dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien eine wesentliche Bedeutung zu.

In der dritten Teilfortschreibung des LEP IV ist grundsätzlich festgelegt, dass ein geordneter Ausbau der Windenergie durch die Regional- und Bauleitplanung sichergestellt werden soll.¹⁶

Hierzu sollen die Regionalpläne Vorranggebiete für die Windenergienutzung ausweisen; die Befugnis für eine abschließende Steuerung durch die Ausweisung von Konzentrationsflächen für die Windenergie ist der Bauleitplanung übertragen. Damit besteht eine grundsätzliche Aufgabenverteilung zwischen Landes-, Regional- und Bauleitplanung gemäß der dritten Teilfortschreibung des LEP IV.

Um einen substantziellen Beitrag zur Stromerzeugung zu ermöglichen, sollen 2% der Fläche des Landes für die Windenergienutzung bereitgestellt werden. Die dritte Teilfortschreibung des LEP IV beinhaltet einen abschließenden Katalog mit Ausschlussgebieten für die Windenergie, gibt Abstandsregeln zu bestimmten Siedlungsgebieten vor und unterstützt das Repowering von Windenergieanlagen. Zudem werden auch Regelungen zur Fotovoltaik und anderen erneuerbaren Energien getroffen.

Für das Erreichen des Ausbauziels von 100% erneuerbare Energien bis zum Jahr 2030 ist ein verstärkter Ausbau der Windenergie und der Fotovoltaik erforderlich. Die raumordnungsrechtlichen Rahmenbedingungen hierfür werden über eine erneute Teilfortschreibung des Landesentwicklungsprogramms umgesetzt.

¹⁶ Dritte Landesverordnung zur Änderung der Landesverordnung über das Landesentwicklungsprogramm vom 19. Dezember 2019 (GVBl. S. 359).

Energiemanagement in Landesliegenschaften

Zur Erfolgskontrolle der Energieeinsparmaßnahmen in Landesliegenschaften wurde die Erfassung und Auswertung der Energieverbrauchswerte fortgeschrieben. Die Auswertungsergebnisse für die Landesliegenschaften im Portfolio des Landesbetriebes Liegenschafts- und Baubetreuung (LBB) können für die Jahre 2002 bis 2020 in ausführlicher Darstellung dem LBB-Energiebericht 2022 entnommen werden. Der LBB-Energiebericht 2022 ist auf der Internetpräsenz des LBB ab Mitte des Jahres 2022 digital abrufbar unter <https://lbb.rlp.de/de/service/publikationen/energiebericht/>.

Bereits 2006 erstellte der Landesbetrieb LBB eine Richtlinie zum energieeffizienten Bauen und Sanieren, die eine Unterschreitung der gesetzlichen Vorgaben nach Energieeinsparverordnung (EnEV) vorgibt. Diese Richtlinie steht ebenfalls in der aktuellen Fassung „Klimaneutrale Landesgebäude -Richtlinie für Neubau und energetische Gebäudesanierung beim Landesbetrieb LBB“ digital unter <https://lbb.rlp.de/de/service/publikationen/> zur Verfügung. Unter Anwendung der Richtlinie wurde nicht nur ein besonders vorbildlicher, die gesetzlichen Anforderungen übertreffender, energetischer Standard für alle Landesliegenschaften umgesetzt. Es entstanden zahlreiche „Leuchtturm“-Projekte im Bestand und im Neubau bis hin

zum zertifizierten Passivhausstandard und zum EnergiePlus- oder Energiegewinnhaus.

Verbrauchs- und Kostenentwicklung in den Liegenschaften des LBB mit Universitäten und Hochschulen der angewandten Wissenschaften bzw. Fachhochschulen

Für die Jahre 2007 bis 2019 hat der Landesbetrieb LBB Energieverbrauchs- und Kostenanalysen für LBB-Liegenschaften, Universitäten und Hochschulen erstellt, die in zusammengefasster Form der Tabelle 1 (siehe nachfolgende Seite) zu entnehmen sind.

Die Gesamtkosten der LBB-Liegenschaften inkl. Hochschulen (für Wärme, Strom und Wasser/Abwasser) betragen in 2019 etwa 58 Mio. €.

Der klimabereinigte Energieverbrauch für Beheizung und Warmwasserbereitung sank von 409 GWh im Jahr 2007 auf 384 GWh im Jahr 2019. Das entspricht einer Abnahme um 6,2%. Gründe dafür liegen vor allem in den fortlaufenden energetischen Sanierungen im Bestand. Weitere Einsparungen werden durch die seit Jahren unternommenen Maßnahmen in den Bereichen Betriebsoptimierung, Energie-Einspar-Contracting und Energiecontrolling erzielt. Ebenso wird über die LBB Richtlinie „Klimaneutrale Landesgebäude“ ein beson-

Tab. 1

Energieverbrauchs- und Kostenanalysen für LBB-Liegenschaften, Universitäten und Hochschulen

	Wärme			Strom		Wasser- und Abwasser	
	Verbrauch		Kosten	Verbrauch	Kosten	Verbrauch Frischwasser	Kosten Wasser und Abwasser
	unbereinigt	klimabereinigt					
	GWh	GWh	Mio. €	GWh	Mio. €	Mio. m ³	Mio. €
2007	341,1	409,1	18,6	187,8	24,1	1,08	3,7
2008	359,4	405,4	22,5	193,0	26,7	1,04	3,6
2009	346,7	392,3	21,6	192,9	27,6	1,06	3,7
2010	385,1	386,2	21,1	195,3	30,6	1,02	3,7
2011	322,5	393,1	18,9	197,5	30,0	1,02	3,8
2012	355,9	383,3	21,9	198,0	33,7	1,00	3,7
2013	357,9	378,8	20,4	193,2	34,4	1,00	3,7
2014	303,9	379,4	19,1	197,0	37,0	1,01	3,8
2015	334,7	378,9	19,2	193,6	38,5	1,01	3,8
2016	327,1	376,2	17,4	191,3	33,5	0,97	3,9
2017	322,3	375,8	15,6	187,8	33,0	0,99	4,0
2018*	313,3	387,9	15,3	189,1	33,8	1,01	4,1
2019	325,7	383,8	16,4	191,4	37,7	0,99	4,0

*Anpassung der Klimabereinigung auf Klimafaktoren nach EnEV

ders energieeffizienter Standard im Neubau sichergestellt, der die Verbräuche des Gesamtportfolios reduziert.

Der Stromverbrauch ist nach Jahren des Anstiegs von 2007 bis 2014 wieder auf ca. 191 GWh zurückgegangen, während der Wasserverbrauch insgesamt leicht sinkt.

Die verbrauchsbedingten Treibhausgasemissionen der Liegenschaften des LBB werden als Teil der „Klimaneutralen Landesverwaltung“ und im LBB-Energiebericht 2022 veröffentlicht.

Nutzung von regenerativen Energien und Kraft-Wärme-Kopplung

Zur weiteren Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen ist der Landesbetrieb LBB bestrebt, für seine Immobilien den Anteil an

regenerativ erzeugter Energie deutlich zu erhöhen. Dazu zählen vor allem der Einbau von Wärmerezeugern, die mit Biomasse befeuert werden, der Einbau von Solarthermieanlagen, der Einsatz von Fotovoltaikanlagen zur Stromerzeugung und die Nutzung von Erdwärme in den meisten Fällen mittels Wärmepumpentechnik. Auch der Anteil der über Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Energie wird ständig ausgebaut. In Form von Blockheizkraftwerken (BHKW) wird effizient Wärme und gleichzeitig über einen Generator Strom erzeugt.

Eine Zusammenstellung der Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung mit Erträgen befindet sich im Anhang.

3.8 Gesamtwirtschaftliche und -gesellschaftliche Effekte der Energiewende

Ein dynamischer Ausbau der erneuerbaren Energie, die Sanierung von Gebäuden, das Marktanreizprogramm für Wärmepumpen oder auch Effizienztechnologien - die Energiewende schafft bereits heute tausende von zukunftsfähigen und hochqualifizierten Arbeitsplätze, vor allem in Technologie und Handwerk. Es eröffnen sich zudem Chancen für neue Bündnisse zwischen Gewerkschaften und Unternehmen - vom Handwerk bis zur Industrie -, Kommunen und der Zivilgesellschaft.

Positive ökonomische Effekte der energiewirtschaftlichen Transformation zeigen sich bereits in vielen rheinland-pfälzischen Kommunen, von kleinen Gewerbeunternehmen bis hin zu global agierenden Industrieunternehmen. Um unsere Klimaziele zu erreichen und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Wirtschaft zu sichern, wird es zukünftig verstärkt darauf ankommen, die Wertschöpfung durch die Energiewende nicht nur im ländlichen Raum, sondern auch in den Städten und industriell und gewerblich geprägten Regionen zu stärken.

In Rheinland-Pfalz waren 2016 insgesamt 10.450 Menschen in der Energiewende beschäftigt, neuere Zahlen für die Bundesländer liegen derzeit nicht vor. Auch die im Zuge der Energiewende eingeführten Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz haben positive Impulse für den Arbeitsmarkt. So gibt die Kreditanstalt für Wiederaufbau an, dass durch ihre Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ im Jahr 2017 ein Beschäftigungseffekt von insgesamt 435.000 Person Jahren ausgelöst wurde, 25.400 davon in Rheinland-Pfalz.

Laut Statistischem Bundesamt (2020) erzielten die Unternehmen der Erneuerbare-Energien-Branche in Rheinland-Pfalz im Jahr 2017 einen Umsatz von 545 Mio. Euro (2016: 529 Mio. Euro).

Das Statistische Landesamt Rheinland-Pfalz gibt an, dass Unternehmen der rheinland-pfälzische Umwelttechnologiebranche 2018 rund 5,5 Milliarden Euro Jahresumsatz erzielten, Klimaschutzmaßnahmen machten 55% des gesamten Umsatzes aus. Von den insgesamt 3,1 Milliarden Euro Umsatz mit Waren und Dienstleistungen für

den Klimaschutz entfielen allein 2,4 Milliarden auf Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz (z. B. durch Gebäudedämmung). Hinzu kamen insbesondere Waren und Dienstleistungen im Bereich der Nutzung von Wind- und Solarenergie.

Bürgerenergiegenossenschaften

Die Energiewende braucht engagierte Menschen, die diese voranbringen. Bürgerenergiegenossenschaften, die ihren eigenen Strom oder ihre Wärme direkt vor Ort erzeugen, verbrauchen oder verkaufen leisten dazu einen wichtigen Beitrag. Dabei kann sich jeder bereits mit kleinen Beträgen an den genossenschaftlichen Energieprojekten beteiligen. Durch ihre demokratische Organisation verfügt jedes Mitglied einer Energiegenossenschaft über das gleiche Mitspracherecht - unabhängig vom eingesetzten Kapital. Da Energiegenossenschaften ihre Projekte vor allem in ihrem Umfeld umsetzen, stärken sie die regionale Wertschöpfung und die Akzeptanz der Energiewende.

Landesnetzwerk BürgerEnergieGenossenschaften Rheinland-Pfalz e.V. - LaNEG



Das LaNEG gründete sich am 18. März 2012 und wird vom Land gefördert. Mittlerweile sind 24 Bürgerenergiegenossenschaften aus Rheinland-Pfalz Mitglied. Daneben sind das Netzwerk Energiewende jetzt e.V., der Genossenschaftsverband - Verband der Regionen e.V. sowie eine Energiegenossenschaft aus Nordrhein-Westfalen und eine mit Sitz im Saarland Netzwerkmitglied.

Die 24 rheinland-pfälzischen Bürgerenergiegenossenschaften haben bisher über 80 Mio. Euro in lokale Erneuerbare-Energien-Anlagen investiert. In den vergangenen Jahren haben sich Energiegenossenschaften verstärkt die Geschäftsfelder „Stromvertrieb“ und „e-carsharing“ erschlossen. Mittlerweile sind 23 Fahrzeuge von 9 Energiegenossenschaften an 20 Standorten in Rheinland-Pfalz im Einsatz. Zudem wurde gemeinsam die Marke „e-Carsharing in Bürgerhand“ als professionelle e-Carsharing-Plattform aufgebaut.

Das Landesnetzwerk hat sich als zentraler Ansprechpartner für Fragen rund um die Bürgerenergie etabliert. Es vertritt die Interessen der rheinland-pfälzischen Energiegenossenschaften, fördert den Erfahrungsaustausch untereinander sowie die Vernetzung mit anderen Akteuren der Energiewende und unterstützt die Energiegenossenschaften bei der Erschließung neuer Geschäftsfelder. Als Mitglied sowohl im

Energiebeirat als auch im Klimaschutzbeirat der Landesregierung Rheinland-Pfalz berät es diese in Bezug auf Bürgerbeteiligung an der Energiewende.

Weitere Informationen zum Landesnetzwerk und seinen Mitgliedern sind unter www.laneg.de zu finden.

Rolle der Kommunen

Die Kommunen sind der Schlüsselakteur für eine erfolgreiche Energiewende und das Erreichen der Klimaschutzziele. Als Planungs- und Genehmigungsbehörde haben sie Einfluss auf die Umsetzung von Klimaschutz- und Energieeffizienzmaßnahmen sowohl in privaten Haushalten als auch in Unternehmen.

Im Rahmen des seit 2017 laufenden Landesprogramms „Wärmewende im Quartier“ wurden bis Ende 2020 in 57 rheinland-pfälzischen Kommunen Quartiersanierungskonzepte erarbeitet und in 28 Gemeinden ein dreijähriges Sanierungsmanagement initiiert. Die Landes-Co-Förderung flankiert die von der KfW bezuschusste energetische Sanierung in kommunalen Quartieren. Im Fokus steht dabei die Verknüpfung unterschiedlicher Handlungsfelder im Quartier hin zur klimagerechten Dorf- bzw. Stadtentwicklung, z. B. das Zusammenwirken der energetischen Sanierung des Gebäudebestands mit der Grün- und Freiraumplanung.

Auch als Eigentümer von Liegenschaften können Kommunen Effizienzpotenziale durch gezieltes Energiemanagement heben. Laut Literatur können rund 10 bis 15% der kommunalen Energiekosten bereits durch nicht investive oder gering investive Maßnahmen eingespart werden.

Mittel- und langfristig soll kommunales Energiemanagement daher zum Standard in rheinland-pfälzischen Gemeinden werden. Dazu werden seit 2017 mit Unterstützung des Umweltministeriums entsprechende EFRE-Programme umgesetzt. Im Fokus steht dabei die systematische Erfassung und das Controlling der Energiedaten in den kommunalen Liegenschaften um den Energieverbrauch, die damit verbundenen Kosten und letztlich die Treibhausgasemissionen zu senken. Weit über 100 Gemeinden wurden bereits mit den einzelnen EFRE-Programmbausteinen über die Energieagentur des Landes erreicht. Dabei rückt zunehmend die Digitalisierung des kommunalen Energiemanagements in den Fokus.

Einfluss auf eine klimaneutrale Entwicklung können Kommunen vor allem über die Bauleitplanung nehmen. Das Umwelt- und Klimaschutzministerium unterstützt daher seit 2020 in ausgewählten Pilotgemeinden die Durchführung von Muster-Bebauungsplanverfahren zur Entwicklung möglichst klimaneutraler Baugebiete.

3.9 Übersicht über die Förderprogramme des Landes im Energiebereich

Zusätzlich zu den zahlreichen, vom Land unterstützten Beratungsangeboten, beispielsweise der Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz oder der Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH für private Haushalte, Kommunen sowie Unternehmen zu allen Themenbereichen der Energiewende, die in den vorangegangenen Kapitel des Energieberichts dargestellt sind, unterstützt die rheinland-pfälzische Landesregierung die grundlegende Transformation des Energieversorgungssystems auch durch Förderungen von Investitionen in den Einsatz von erneuerbaren Energien im Strom- und Wärmesektor, in die Energiespeicherung sowie in energieeffiziente Technologien und Verfahren. Dabei lag im Berichtszeitraum 2018 / 2019 ein wesentlicher Schwerpunkt auf dem Wärmesektor mit dem Ziel der Reduktion energiebedingter CO₂-Emissionen, dessen Anteil an den energiebedingten CO₂- Gesamtemissionen in Rheinland-Pfalz ca. 44% beträgt.

Nachfolgend werden wesentliche Förderprogramme des Landes zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende in Rheinland-Pfalz kurz vorgestellt. Weiterführende Informationen sind unter

<https://mkuem.rlp.de/de/themen/energie-und-strahlenschutz/foerderung-der-energie-wende/> verfügbar.

Förderprogramm „Zukunftsfähige Energieinfrastruktur“ ZEIS

Im Rahmen dieses Landesförderprogramms werden gefördert:

- Bau und Ausbau von Wärmenetzen zur direkten Wärmeversorgung von zwei oder mehr Gebäuden.
Diese müssen durch Biomasse, geothermische und solare Energie, industrielle Abwärme und Wärme aus Abwasser versorgt werden. Darüber hinaus werden damit in Verbindung stehende zentrale Wärmeerzeuger (Biomassefeuerungsanlagen, thermische Solaranlagen, effiziente Wärmepumpen) sowie Hausübergabestationen, Wärmespeicher, Anlagen zur Verwertung von Abwärme und Messtechnik gefördert.
- Sanierung der Straßenbeleuchtung durch energieeffiziente LED-Technik, die hohen Anforderungen in Hinblick auf Insektenfreundlichkeit und den

Schutz der Dunkelheit genügen. Im Einzelfall können auch LED-Lichtmasten gefördert werden, soweit diese für Zwecke einer integrierten multifunktionalen und digitalen Infrastruktur ausgestattet werden (z.B. öffentliches WLAN, Notruf funktion, Sensoren zur Messung von Schadstoffen und Instrumenten zur Verkehrssteuerung).

- Durchführbarkeitsstudien, die sich auf Projekte der ZEIS-Förderrichtlinie beziehen.

Damit sollen die Anforderungen und Potenziale neuer Energiewende-Projekte analysiert werden.

Antragsberechtigt sind Kommunen, Gebietskörperschaften, Zweckverbände, Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts sowie Eigengesellschaften kommunaler Gebietskörperschaften, kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sowie Energiegenossenschaften, aber keine Privatpersonen. Bei Maßnahmen (z.B. LED-Straßenbeleuchtung), die mit Mitteln nach dem Landesfinanzausgleich finanziert werden, kann die Zuwendung nur kommunalen Gebietskörperschaften gewährt werden.

Es ist zulässig, andere öffentliche Förderungen zusätzlich in Anspruch zu nehmen. Allerdings nur bis zu einer Gesamtförderquote von 50%.

ZEIS-Wärme

Seit 2016 werden Investitionszuschüsse für Nahwärmenetze auf der Basis von erneuerbaren Energien oder Abwärme im Rahmen des Programmes „Zukunftsfähige Energie-Infrastrukturen“ gezahlt.

Der Zuschuss beträgt bis zu 30% der zuwendungsfähigen Ausgaben von maximal 5 Mio. Euro. Die förderfähigen Aufwendungen für Investitionen im Bereich der Wärmeversorgung dürfen 100.000 Euro nicht unterschreiten.

In der Regel werden bei den Projekten in kleineren Ortschaften oder Ortsteilen die Ölheizungen von 10 bis 150 Ein-Familien-Häuser ersetzt durch den Anschluss an Nahwärmenetze auf Basis von großen Solarthermie-Anlagen und Bioheizanlagen, die mit Hackschnitzeln aus den Wäldern der Region betrieben werden. Kommunale Gemeindewerke, Energiegenossenschaften oder Öffentlich-Öffentliche Partnerschaften mit Stadt- und Gemeindewerken aus anderen Regionen sind häufig die Investoren und Betreiber. Die Energieagentur berät bei der Planung der Projekte.

Im Rahmen des ZEIS-Programms wurden seit 2016 bisher 23 Wärmenetze gefördert mit einem gesamten Investitionsvolumen von rund 21,7 Mio. Euro und einem Förder volumen von rund 2,4 Mio. Euro (Stand 30 August 2021).

ZEIS Beleuchtung

Mit der Novelle der VV ZEIS wurde Ende 2018 die LED-Sanierung der Straßenbeleuchtung als neuer Schwerpunkt in dieses Programm aufgenommen. Bei der Straßen- und Außenbeleuchtung können durch hocheffiziente LED-Technik erhebliche Potenziale für Klimaschutz und Kostensenkung im Sanierungsfall erschlossen werden.

Das Land übernimmt auch hier bis zu 30% der Investitionskosten. Die förderfähigen Investitionen dürfen einen Betrag von 50.000 Euro nicht unterschreiten. Gefördert wurden 31 Projekte, die teilweise als Bündelanträge mehrerer Antragsteller eingereicht worden waren, mit einem Fördermitteleinsatz von rd. 1,2 Mio. Euro.

Das Land fördert unabhängig von den vorgenannten Förderangeboten im Rahmen der Verwaltungsvorschrift ZEIS die Umrüstung der Straßenlampen auf LED-Beleuchtung mit Mitteln aus dem ‚Kommunalen Investitionsprogramm 3.0 des Bundes. Aus diesem Bereich sind insgesamt 102 Anträge mit insgesamt rund 5,2 Mio. Euro Gesamtfördersumme unterstützt worden.

ZEIS Durchführbarkeitsstudien

Das Land Rheinland-Pfalz unterstützt Durchführbarkeitsstudien u. a. in Bezug auf Nahwärmenetze.

Im Rahmen der Studien sollen Risiken identifiziert und Erfolgsaussichten abgeschätzt werden. Schwerpunkte der Studien können die Energie- und Kosteneffizienz, der Anteil der Nutzung erneuerbarer Energien und der Innovationsgehalt der skizzierten Maßnahme bilden.

Förderfähig sind Personalausgaben sowie Ausgaben für die Beauftragung externer Sachverständiger.

Bei Durchführbarkeitsstudien beträgt der Zuschuss 60% der zuwendungsfähigen Ausgaben, bis zu einem Maximalbetrag von bis zu 50.000 Euro.

Bisher wurden im Rahmen des ZEIS-Programms 19 Durchführbarkeitsstudien mit einem Fördervolumen von insgesamt rund 411.000 Euro vom Land gefördert (Stand 30. August 2021).

Förderprogramm „Wärmewende im Quartier - Zuweisung für integrierte Quartierskonzepte und Sanierungsmanagement“

Hinweis:

Mit Inkrafttreten des neu gefassten KfW-Förderprogramms 432 mit verbesserten Bundesförderquoten zum 1. April 2021 ist die Möglichkeit zur Einreichung neuer Anträge bis auf Weiteres ausgesetzt.

Integrierte Quartierskonzepte zeigen die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten, Energie einzusparen und erneuerbare Energien zu nutzen, bezogen auf ein Quartier auf. Dabei beachten sie städtebauliche, denkmalpflegerische, wohnungswirtschaftliche, demografische und soziale Aspekte. Ziel ist die Einsparung von energiebedingten CO₂-Emissionen durch die Sanierung von Quartieren.

Gefördert wurde die Erarbeitung von integrierten energetischen Quartierskonzepten (Programmteil A) und deren Umsetzung im Rahmen eines internen oder extern beauftragten Sanierungsmanagements (Programmteil B). Aufgaben des Sanierungsmanagements sind die Motivation, Beratung und Koordination der privaten und öffentlichen Eigentümer der Liegenschaften zur Durchführung von Sanierungsmaßnahmen sowie die Unterstützung bei der Einwerbung von Fördermitteln.

Antragsberechtigt waren bis zum 1. April 2021 ausschließlich kommunale Gebietskörperschaften.

Das Land hat die KfW-Förderung durch das bisherige Programm 432 durch zusätzliche Zuweisungen an antragstellende Kommunen kofinanziert und bei Quartierssanierungskonzept wie bei Sanierungsmanagement die Förderung der KfW, die bei 65% der förderfähigen Ausgaben liegt, um weitere 20% aufgestockt. Bei Kommunen, die

zum Zeitpunkt der Antragstellung am Kommunalen Entschuldungsfonds Rheinland-Pfalz teilnehmen, hat die Förderung des Landes an die Kommune 30% der zuwendungsfähigen Ausgaben betragen.

Der verbleibende Finanzierungsanteil der Kommunen lag somit in der Regel bei 15% der Kosten, bei Kommunen, die am Entschuldungsfonds teilnehmen, bei 5%.

Im Rahmen der Förderrichtlinie „Wärme-wende im Quartier“ wurden vom Land insgesamt rund 1,9 Mio. Euro für 98 Anträge (68 Konzepte und 30 Sanierungsmanagements) bewilligt. Die Gesamtinvestitionssumme dieser Projekte betrug dabei rund 8,4 Mio. Euro (Stand 30. August 2021).

Solar-Speicher-Programm

Zum 31. Oktober 2021 endete die Antragsfrist für Neuanträge für das Solar-Speicher-Programm.

Das Förderprogramm war sehr erfolgreich, mehr als 10.000 Förderanträge waren im Zeitraum 2019 bis 2021 eingegangen. Ein Solar-Speicher-Programm II ist in Vorbereitung, das speziell Kommunen adressiert.

Im Solar-Speicher-Programm wurden Investitionen in stationäre Batteriespeicher im Zusammenhang mit der Beschaffung und Installation von neuen Fotovoltaik-Anlagen unterstützt. Durch Investitionen in PV-Batterie-Speicher steht die klimafreundliche Sonnenenergie auch nachts oder an Regentagen zur Eigenstromversorgung zur Verfügung. Das bedeutet mehr

Unabhängigkeit von zukünftigen Strompreissteigerungen und weniger Strombezug vom Energieversorger. Darüber hinaus unterstützte das Land mit dem Solar-Speicher-Programm auch die Integration von Strom aus Fotovoltaik-Anlagen in sichere Stromversorgungsstrukturen sowie die Etablierung moderner Batterie-Speicher-Technologie in Rheinland-Pfalz.

Voraussetzung für die Förderung war die Investition in ein fest installiertes, kommerziell verfügbares Batteriespeichersystem, das in Verbindung mit einer neuen, an das Verteilnetz angeschlossenen Fotovoltaik-Anlage errichtet wird.

Privathaushalte, kommunale Gebietskörperschaften und Anstalten öffentlichen Rechts, Unternehmen, Vereine und karitative Einrichtungen waren zuwendungsbe-rechtigt.

Bei Heimspeichern in Privathaushalten war die Neuinstallation von PV-Modulen mit einer Leistung von mindestens 5 kWp Fördervoraussetzung. Die Mindestgröße des Speichers betrug 5 kWh. Die Förderung des Heimspeichers in Privathaushalten betrug 100 EUR pro kWh Speicherkapazität. Die Förderung war auf maximal 1.000 EUR begrenzt.

Bei Gemeindespeichern in kommunalen Liegenschaften sowie Speicher in Anstalten öffentlichen Rechts, Unternehmen, Vereinen und karitativen Einrichtungen war die Neuinstallation einer Anlage von PV-Modulen mit einer Leistung von mindestens

10 kWp Fördervoraussetzung. Gemeindespeicher in kommunalen Liegenschaften sowie Speicher in Anstalten öffentlichen Rechts, Unternehmen, Vereinen und karitativen Einrichtungen wurden ab 10 kWh Speicherkapazität gefördert. Die Förderung der Speicher in Gemeinden, Anstalten öffentlichen Rechts, Vereinen, Unternehmen und karitativen Einrichtungen betrug 100 EUR pro kWh Speicherkapazität, höchstens 10.000 EUR.

EFRE-Förderprogramm „Verringerung der CO₂-Emissionen und Ressourcenschutz durch regenerative und effiziente Energienutzung“

Das Land Rheinland-Pfalz fördert aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Rahmen des Operationellen Programms „OP Rheinland-Pfalz EFRE 2014-2020“ Investitionen und nichtinvestive Vorhaben zur Umsetzung innovativer klima- und ressourcenschonender Technologien und Strategien.

Dabei sollen Hemmnisse und Informationsdefizite identifiziert und beseitigt werden, zukunftsweisende Modell- und Demonstrationsvorhaben mit Klimaschutzinnovationen initiiert und ihre Marktdurchdringung unterstützt werden. Neben innovationsbezogenen Ansätzen sollen Energieeffizienzmaßnahmen in öffentlichen Gebäuden und Infrastrukturen unterstützt werden, sofern

diese auf kommunalen Strategien zum Klimaschutz (z.B. kommunale Klimaschutzkonzepte) aufbauen.

Gefördert werden können Einzelpersonen, kleine und mittlere Unternehmen (KMU), Genossenschaften, Kommunen, Zweckverbände, Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts sowie Eigengesellschaften kommunaler Gebietskörperschaften.

Es wird Anteils- oder Vollfinanzierung durch einen nicht rückzahlbaren Zuschuss gewährt. Der Fördersatz beträgt in der Regel 50% der förderfähigen Ausgaben des Vorhabens. Für Zuwendungen, die im Sinne des Artikels 107 Abs. 1 AEUV beihilferelevant sind, gelten ggf. die niedrigeren Grenzen des Beihilferechtes.

Im Rahmen des Operationellen Programms wurden bisher (Stand 1. September 2021) für 23 Projekte insgesamt 13,5 Mio. Euro an Fördermitteln ausgereicht und damit Investitionen in einem Umfang von 95 Mio. Euro ausgelöst.

Einzelfallförderung zur verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energien und zur Steigerung der Energieeffizienz

Nach § 23 der Landeshaushaltsordnung kann das Land Zuwendungen für Maßnahmen gewähren, an denen das Land ein erhebliches Interesse hat, weil sie der Verwirklichung der energiepolitischen Ziele des Landes dienen.

Gefördert werden können Einzelpersonen, kleine und mittlere Unternehmen (KMU), Genossenschaften, Kommunen, Zweckverbände, Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts sowie Eigengesellschaften kommunaler Gebietskörperschaften.

Das Land Rheinland-Pfalz fördert Maßnahmen, die der Umsetzung seiner energiepolitischen Ziele dienen. Es handelt sich um Maßnahmen zur verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energien und zur Steigerung der Energieeffizienz, zur Entwicklung von innovativen Technologien und ihrer beschleunigten Erprobung und Markteinführung. Außerdem wird die Verbreitung von Informationen über solche Technologien sowie die Vernetzung der Akteure gefördert.

Nicht gefördert werden Investitionen in Anlagen, die nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz oder dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz gefördert werden,

Unter Berücksichtigung der beihilferechtlichen Vorgaben auf nationaler und europäischer Ebene werden nicht rückzahlbare Zuschüsse im Wege der Festbetrags-, Anteils- oder Fehlbedarfsfinanzierung gewährt. Der Antragsteller hat in angemessenem Umfang Eigenmittel und wenn möglich Drittmittel einzusetzen, damit die Projektziele erreicht werden können.

4. ENTWICKLUNG VON ENERGIEERZEUGUNG UND -VERBRAUCH IN RHEINLAND-PFALZ

4.1. Rahmenbedingungen und Bestimmungsfaktoren der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs

Wesentliche Informationen für das Energiemonitoring auf Landesebene liefert die Energiebilanz. Mit der Energiebilanz lässt sich der Energieverbrauch in Rheinland-Pfalz umfassend darstellen. Der Energieverbrauch hängt

zum einen von natürlichen Gegebenheiten ab, z. B. den Temperatur- bzw. Witterungsbedingungen. Die Temperatur- bzw. Witterungsbedingungen verursachen deutliche kurzfristige bzw. saisonale Schwankungen

Energiebilanz

Um den Energieverbrauch in einer Volkswirtschaft umfassend darzustellen, werden Energiebilanzen erstellt. Eine Energiebilanz zeigt das Aufkommen, die Umwandlung und die Verwendung von Energie nach Energieträgerarten und Verbrauchssektoren für ein Wirtschaftsgebiet und einen bestimmten Zeitraum. Die wichtigsten Berechnungsgrößen der Energiebilanz sind der Primärenergieverbrauch und der Endenergieverbrauch des Landes. Bei der Primärenergie handelt es sich um das gesamte Energieaufkommen aus Importen und aus der eigenen Energiegewinnung im Inland abzüglich der Energielieferungen an andere Länder. Erst nach den Umwandlungsprozessen (z. B. in Verbrennungskraftwerken) und dem Verlust durch den nicht-energetischen Verbrauch der Grundstoffe (z. B. in der Chemischen Industrie) entsteht die für die Verbraucher verwertbare Endenergie (z. B. in Form von Heizöl, Strom, Benzin). Der Endenergieverbrauch umfasst also die Energiemenge, die den Energieverbrauchern nach den industriellen Umwandlungsprozessen (z. B. in Verbrennungskraftwerken), zur Verfügung steht. Letztlich werden z. B. Strom oder Gas in Licht bzw. Wärme umgewandelt (sogenannte Nutzenergie). Es ist aber schließlich nicht mehr genau nachzuvollziehen wie hoch die Nutzenenergie ist, weshalb diese Stufe der Energieverwendung nicht mehr Teil der Energiebilanzierung der Bundesländer ist.

In Rheinland-Pfalz erstellt das Statistische Landesamt jährlich die Energiebilanz des Landes im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität (MKUEM). Um Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen für die Bundesländer zu gewährleisten, werden die Energiebilanzen nach einer einheitlichen Methodik des Länderarbeitskreises Energiebilanzen erstellt. Die Bilanzrechnungen basieren auf Ergebnissen der amtlichen Energiestatistiken und auf verschiedenen Statistiken, die von Verbänden der Energiewirtschaft erstellt werden, sowie einzelnen Schätzungen. Die Methodik des Länderarbeitskreises Energiebilanzen richtet sich nach internationalen und europäischen Vorgaben. Da die Erstellung und Auswertung der verschiedenen Statistiken aufwendig ist und Zeit benötigt, liegt zwischen dem Berichtsjahr und der Fertigstellung der Energiebilanz eine vergleichsweise lange Zeitspanne. Für diesen Bericht stehen Daten für das Berichtsjahr 2019 zur Verfügung (Berechnungsstand: Juni 2021).

des Energieverbrauchs, vor allem durch den Heizbedarf im Winter. Zum anderen wird der Energieverbrauch durch ökonomische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen bestimmt. Hinzu kommen gesetzliche Regelungen, wie z. B. der Vorrang für erneuerbare Energien nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz.

Strukturelle Faktoren, insbesondere die Wirtschaftsstruktur, spielen eine wichtige Rolle für das Niveau des Energieverbrauchs in einem Land. Darüber hinaus verursachen konjunkturelle Entwicklungen kurz- und mittelfristig Schwankungen des Energieverbrauchs. Außerdem wird der Energieverbrauch durch Preisentwicklungen an den Energiemärkten beeinflusst.

Grundsätzlich erfordert eine Erhöhung des gesamtwirtschaftlichen Outputs einen höheren Einsatz an Inputs, also auch einen höheren Energieeinsatz. Investitionen und technologischer Fortschritt können allerdings für Produktivitätssteigerungen sorgen und dazu beitragen Energie einzusparen. Das Niveau und die Entwicklung der wirtschaftlichen Aktivitäten in einer Volkswirtschaft werden mithilfe des Bruttoinlandsprodukts bzw. seiner Veränderung gemessen. Das Bruttoinlandsprodukt umfasst den Wert aller produzierten Waren und Dienstleistungen (Produktionswert) innerhalb eines Wirtschaftsgebietes abzüglich des Wertes der Güter, die für die Produktion verbraucht werden (Vorleistungen).

Um die Entwicklung der gesamtwirtschaftlichen Produktion im Zeitablauf zu erfassen, wird das nominale Bruttoinlandsprodukt um Preisänderungen bereinigt.

In Rheinland-Pfalz stieg das Bruttoinlandsprodukt zwischen 1991 und 2019 preisbereinigt um 30%. Der Primärenergieverbrauch, also der Energieeinsatz vor sämtlichen Umwandlungsprozessen, nahm im gleichen Zeitraum „nur“ um 7,9% zu. Somit ist der Energieeinsatz nicht in gleichem Maß gestiegen wie die Wirtschaftsleistung. Der Energieeinsatz für die gesamtwirtschaftliche Produktion ist somit effizienter geworden. Mit einer Einheit Primärenergie wird heute mehr Inlandsprodukt erstellt als zu Beginn des Betrachtungszeitraums.

Die Effizienzgewinne fielen in Deutschland höher aus als in Rheinland-Pfalz: Seit 1991 stieg die Energieproduktivität hierzulande um 20% und in Deutschland um 67%. Der Unterschied ist zum einen auf ein kräftigeres Wirtschaftswachstum in Deutschland zurückzuführen (+46%). Zum anderen war der Energieverbrauch in Deutschland langfristig rückläufig. Er sank zwischen 1991 und 2019 um 13%. Die Wirtschaftsstruktur in Rheinland-Pfalz ist dagegen durch besonders energieintensive Branchen geprägt. Besonders in den 1990er Jahren stieg der Verbrauch fossiler Energieträger unter anderem auch deshalb, weil sie als Grundstoffe für sogenannte

nicht-energetische Zwecke eingesetzt werden (z. B. in der Chemischen Industrie).

Die Energieproduktivität in laufenden Preisen lag in Rheinland-Pfalz 2019 unter dem Bundeswert: Mit einer Megawattstunde bzw. 1.000 kWh Primärenergie wurden im Schnitt 819 Euro Bruttoinlandsprodukt erwirtschaftet; in Deutschland waren es 972 Euro.

Es ist üblich, zur Bewertung der gesamtwirtschaftlichen Energieeffizienz nicht nur den Verbrauch von Primärenergie, sondern auch den Endenergieverbrauch heranzuziehen. Bei der Endenergieproduktivität wird das Bruttoinlandsprodukt ins Verhältnis zum Endenergieverbrauch gesetzt. Die Endenergieproduktivität 2019 belief sich nach dieser Definition in Rheinland-Pfalz auf 1.075 Euro und in Deutschland auf 1.371 Euro. Die Werte fallen höher aus als bei der Primärenergieproduktivität, weil der Nenner bei dieser Verhältniszahl, also der Endenergieverbrauch, grundsätzlich geringer ist. Dies liegt an den Energieverlusten, die bei den Umwandlungsprozessen von Primär- zu Endenergieträgern entstehen (z. B. bei der Erzeugung von Strom aus Erdgas), sowie an dem Eigenverbrauch der Kraftwerke. Hinzu kommt, dass der nicht-energetische Verbrauch beim Endenergieverbrauch nicht berücksichtigt wird. Der Endenergieverbrauch umfasst nur den energetisch genutzten Teil der Energieträger durch die Letztverbraucher.

Preisbereinigt stieg die Endenergieproduktivität in Rheinland-Pfalz zwischen 1991 und 2019 wie die Primärenergieproduktivität um 20%. In Deutschland wurde eine Zunahme von 51% realisiert.

Die langfristige Steigerung der Energieproduktivitäten in Rheinland-Pfalz und in Deutschland ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass nicht mehr zeitgemäße Verfahren und Technologien nach und nach durch effizientere, moderne abgelöst wurden. Ein anderer wesentlicher Grund dürfte die Veränderung der Wirtschaftsstruktur sein. Der Dienstleistungsbereich, der im Vergleich zur Warenproduktion mit einem vergleichsweise geringen Energieeinsatz auskommt, hat im Betrachtungszeitraum deutlich an Bedeutung gewonnen. Obwohl der Anteil des vergleichsweise energieintensiven Verarbeitenden Gewerbes an der Wertschöpfung seit Anfang der 1990er-Jahre gesunken ist, hat dieser Wirtschaftsbereich in Rheinland-Pfalz immer noch einen relativ hohen Anteil an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung: Mit 24% liegt dieser Anteil rund drei Prozentpunkte über dem Bundesdurchschnitt. Hierbei ist die Chemische Industrie besonders hervorzuheben. Sie gehört zu den Branchen mit einem besonders hohen Energiebedarf

und ist hierzulande der wichtigste Industriezweig.¹ Die Chemie in Rheinland-Pfalz trägt zusammen mit der Kokerei und Mineralölverarbeitung rund 6% zur gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung bei, in Deutschland dagegen nur 2%. An der Wertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes ist sie mit rund einem Viertel beteiligt (Deutschland: 8%).

Die Unterschiede in der Wirtschaftsstruktur spiegeln sich in der sektorspezifischen Energieintensität wider: Für 1.000 Euro Wertschöpfung wurden 2019 in der rheinland-pfälzischen Industrie im Schnitt etwa 1.300 kWh Endenergie verbraucht. Dies waren rund 300 kWh mehr als in Deutschland.

Die besonders energieintensiven Branchen des Verarbeitenden Gewerbes kamen in Rheinland-Pfalz 2019 auf einen Umsatzanteil von 43%. In Deutschland belief sich dieser Anteil dagegen nur auf 22%.² Die Chemische Industrie benötigte hierzulande für 1.000 Euro Umsatz einen durchschnittlichen Energieeinsatz von 2.100 kWh (einschließlich nicht-energetischem Verbrauch). Mit einem deutlichen Abstand folgten die Glas- und Keramikindustrie sowie die Papier- und Pappwarenbranche (1.400 kWh bzw. 1.300 kWh je 1.000 Euro).

Die Industrie verbraucht zwar Energie und trägt dadurch auch zur Entstehung von Treibhausgasemissionen bei. Sie profitiert aber auch durch neue Geschäftsfelder vom Umwelt- und Klimaschutz und durch Investitionen in den Umweltschutz. Die Industrie erzielte 2019 mit Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz einen Erlös von 4,8 Milliarden Euro. Davon wurden 2,6 Milliarden Euro im Bereich Klimaschutz erwirtschaftet. Dies entspricht einem Anteil von 55%. Investitionen in den Umweltschutz wurden 2019 in Höhe von 321 Millionen Euro getätigt. Dies waren 9,5% der gesamten Investitionen des Industriesektors. Auf den Klimaschutz entfielen rund 58 Millionen Euro. Dies entspricht 18% der gesamten Umweltschutzinvestitionen.

Nicht nur die Industrie, sondern auch die Haushalte und Kleinverbraucher tragen mit der Nutzung von Strom und ihrem Heizverhalten einen wesentlichen Teil zum rheinland-pfälzischen Energieverbrauch bei. Hinzu kommt - unabhängig von gewerblichen oder privaten Zwecken - der Energieverbrauch im Verkehr. Bestimmungsfaktoren für die Höhe des Energieverbrauchs sind hier z. B. die demografische Entwicklung, aber auch

¹ Die Industrie wird hier mit dem Verarbeitenden Gewerbe (Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008, Abschnitt C) gleichgesetzt.

² Die Abgrenzung energieintensiver Branchen erfolgt hier auf Basis der Jahrerhebung über die Energieverwendung im Verarbeitenden Gewerbe (Energieverbrauch einschließlich nicht-energetischem Verbrauch) bezogen auf den Branchenumsatz.

die Zahl der Haushalte sowie die Wohn- und Verkehrsverhältnisse.

In Rheinland-Pfalz stieg die Zahl der Einwohnerinnen und Einwohner zwischen 1991 und 2019 stärker als in Deutschland (+7,8% gegenüber +3,9%). In dem gleichen Zeitraum wuchs die Zahl der Haushalte um 21% (Deutschland: +18%).³ Hinzu kommt, dass die Wohnfläche je Einwohnerin bzw. Einwohner heute deutlich höher ist als 1995⁴ (+30% in Rheinland-Pfalz; +26% in Deutschland). Dies dürfte gesamtwirtschaftlich mit einem steigenden Bedarf an Nutzenergie, also z. B. Wärme und Licht, einhergegangen sein. Aber auch im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher wurde die Energienutzung durch den technologischen Fortschritt effizienter.

Bei den Wohnverhältnissen sind zwischen Rheinland-Pfalz und Deutschland strukturelle Unterschiede erkennbar: Die Rheinland-Pfälzerinnen und Rheinland-Pfälzer verfügen über durchschnittlich 6,5 Quadratmeter mehr Wohnfläche pro Kopf als die Bundesbürgerinnen und -bürger (2019: rund 52 gegenüber 46 Quadratmeter). Zudem ist die Einfamilienhausquote - d. h. der Anteil der Einfamilienhäuser an den Wohngebäuden, die mit Energie versorgt werden müssen - mit 73% höher als im Bundesdurchschnitt (67%). Der durchschnittliche Endenergieverbrauch im Sektor

Haushalte ist dementsprechend hierzulande höher. Er lag 2019 bei 9.700 kWh pro Kopf; dies waren etwa 1.700 kWh mehr als in Deutschland.

Strukturelle Unterschiede gibt es auch im Bereich Verkehr. Die Zahl der Fahrzeuge ist in Rheinland-Pfalz deutlich höher als bundesweit. Im Jahr 2019 kamen hierzulande auf 1.000 Haushalte 1.312 Pkw. Das waren 160 Pkw mehr als in Deutschland. Dies dürfte u. a. darauf zurückzuführen sein, dass in Rheinland-Pfalz vergleichsweise viele Berufstätige zwischen Wohnort und Arbeitsort pendeln. Der durchschnittliche Endenergieverbrauch im Straßenverkehr belief sich 2019 auf rund 8.300 kWh pro Kopf; dies waren etwa 700 kWh mehr als in Deutschland.

³ Die Ergebnisse stammen aus dem Mikrozensus. Im Betrachtungszeitraum wurden methodische Änderungen vorgenommen, welche die zeitliche Vergleichbarkeit einschränken können.

⁴ Vergleichbare Daten für frühere Jahre liegen nicht vor.

4.2 Entwicklung der Energiepreise

Die Preisbildung auf den Energiemärkten unterliegt vielfältigen Einflüssen. Das Handeln der privaten Akteure in der EU und Deutschland wird durch die staatliche Regulierung der Energiemärkte maßgeblich beeinflusst. Die Sicherstellung der Energieversorgung im Sinne der Daseinsvorsorge gehört zum Verantwortungsbereich des Staates. Außerdem sind mit der angestrebten Energiewende strukturelle Änderungsprozesse verbunden. Die Energie- bzw. umwelt- und klimapolitischen Regelungen, u. a. das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), wirken sich auf die Energiepreise aus. Dies zeigt beispielsweise der Strompreis für die privaten Haushalte. Er setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen: Bei dem im Jahr 2020 von einem durchschnittlichen deutschen Haushalt zu zahlenden Preis von 32,05 ct/kWh (2019: 30,85 ct/kWh) entfiel etwa ein Viertel auf die Erzeugung und den Vertrieb von Strom inklusive Gewinnmarge der Anbieter (2019: ebenfalls 25%). Rund die Hälfte des Strompreises machten Steuern und Umlagen aus, darunter die Umlage nach dem EEG (EEG-Umlage) in Höhe von 21% des durchschnittlichen Haushaltspreises bzw. 6,76 ct/kWh (2019: 21% bzw. 6,41 ct/kWh). Im Gegensatz zu den nicht zweckgebundenen Steuern diente die EEG-Umlage ausschließlich der Finanzierung des Ausbaus der erneuerbaren Energien. Auf die Entwicklung des Strompreises

hatte in den letzten Jahren insbesondere diese Umlage einen erheblichen Einfluss.

Als weitere wichtige Komponente des Strompreises ist das Netzentgelt zu nennen. Dabei handelt es sich um regional unterschiedliche staatlich regulierte Gebühren für die Durchleitung des Stroms. Hierbei werden die Kosten für das Stromnetz (z. B. Ausbau und Maßnahmen zur Systemsicherheit) auf die Letztverbraucher umgewälzt. Am durchschnittlichen Haushaltspreis hatte das Netzentgelt 2020 einen Anteil von 23% (inklusive Entgelt für Messung und Messstellenbetrieb). Es belief sich im Schnitt auf 7,50 ct/kWh (2019: 7,22 ct/kWh) und erreichte damit 2020 einen Höchstwert.

Um preisliche Veränderungen im Zeitablauf darstellen zu können, werden Energiepreisindizes verwendet. Dabei ist zwischen Verbraucher- und Erzeugerpreisen zu unterscheiden.

Der Verbraucherpreisindex misst die durchschnittliche Entwicklung der Preise aller Waren und Dienstleistungen, die von privaten Haushalten für Konsumzwecke gekauft werden. In den Verbraucherpreisindex gehen die Preise von rund 650 Waren und Dienstleistungen ein („Warenkorb“), darunter auch von Energieträgern. Im Jahr 2019 stiegen die

Verbraucherpreise in Rheinland-Pfalz um 1,3%. Im Jahr 2020 lag die Preissteigerung bei 0,6%. Deutschlandweit ist die Entwicklung ähnlich (2019: +1,4%; 2020: +0,5%).

Der Verbraucherpreisindex stieg in Rheinland-Pfalz seit Mitte der 1990er-Jahre jährlich um durchschnittlich 1,3%. Zwischen 1995 und 2019 belief sich der Zuwachs insgesamt auf 37%. Die Energiepreise nahmen wesentlich stärker zu als die Verbraucherpreise insgesamt. Der Verbraucherpreis für Strom stieg zwischen 1995 und 2019 in Rheinland-Pfalz um 115%. Im Jahr 2019 lag die Preissteigerung bei 3% (2020: +5,5%).

Besonders kräftig nahmen langfristig die Preise für Heizöl zu. Zwischen 1995 und 2019 war in Rheinland-Pfalz eine Preissteigerung von 187% zu verzeichnen. Im Jahr 2019 stieg der Verbraucherpreis für Heizöl mit 2,2% vergleichsweise moderat (2020: - 21%). Für die Heizölpreise gilt wie für die gesamte Mineralölpreisentwicklung, dass sie auch kurzfristig von weltweiten politischen und wirtschaftlichen Entwicklungen beeinflusst werden und deshalb sehr volatil sind. Ein Bestimmungsfaktor der Preisentwicklung ist vor allem die Angebotssteuerung durch die Anpassung der Rohölfördermengen der Organisation der Erdöl exportierenden Länder (OPEC) sowie weiterer Förderländer. Der deutliche Preisrückgang 2020 dürfte aber vor allem auf die gesunkene Nachfrage infolge der Corona-Krise zurückzuführen sein.

Auch die Preise für Kraftstoffe verzeichneten in Rheinland-Pfalz 2020 ein zweistelliges Minus (-10%; Deutschland: -9,8%). Allerdings sanken die Kraftstoffpreise bereits vor der Pandemie. Im Jahr 2019 gingen die Preise für Superbenzin um 2,5% und für Dieselmotorkraftstoffe um 2,3% zurück.

Im Gegensatz zu den kurzfristigen Veränderungen nahmen die Preise für Kraftstoffe über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg deutlich zu. Die durchschnittliche jährliche Preissteigerung bei Kraft- und Schmierstoffen belief sich in Rheinland-Pfalz auf 2,6%. Zwischen 1995 und 2019 ist insgesamt ein Anstieg von 87% zu verzeichnen. Im Vergleich zu Diesel fiel die Preissteigerung bei Benzin über den gesamten Betrachtungszeitraum geringer aus: Seit 1995 stieg der Preis für Dieselmotorkraftstoffe um 120%, der Preis für Superbenzin und Super plus nahm um 80% zu.

Der Gaspreis stieg seit Mitte der 1990er-Jahre um 91%. Im Jahr 2019 lag die Steigerung bei 0,6%. Im Gegensatz zum Heizölpreis nahm der Gaspreis für rheinland-pfälzische Verbraucher auch im Corona-Jahr 2020 zu, und zwar um 1,8%.

Der Erzeugerpreisindex gewerblicher Produkte misst die durchschnittliche Preisentwicklung von Rohstoffen und Industrieerzeugnissen, die in Deutschland hergestellt

und verkauft werden. Der Erzeugerpreisindex für Energie ist Teil des Indexes der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte und misst dementsprechend die durchschnittliche Preisentwicklung von Energieträgern, die im Inland hergestellt und verkauft werden. Allerdings kann hier nur die Entwicklung für Deutschland dargestellt werden, weil keine Erzeugerpreisindizes für Rheinland-Pfalz berechnet werden.

Der deutsche Erzeugerpreisindex für Energie stieg im längerfristigen Vergleich zwischen 2000 und 2019 um 65% und damit deutlich stärker als der Erzeugerpreisindex für gewerbliche Produkte ohne Energie (+22%).⁵

Auch bei den Erzeugerpreisen zeigt sich, dass die Entwicklung der Energiepreise grundsätzlich etwas volatil ist als die Entwicklung der übrigen Preise. Im Jahr 2019 stieg der Erzeugerpreisindex für Energie um +2,1% (2020: -4,0%). Mit einem Plus von 7% wurde vor allem Strom teurer (2020: +0,8%). Der Erzeugerpreisindex für gewerbliche Produkte ohne Energie nahm dagegen nur um 0,8% zu (2020: +0%).

⁵ Daten zum Erzeugerpreisindex liegen erst seit dem Jahr 2000 vor.

4.3 Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

In der Energiebilanz kann der Primärenergieverbrauch auf der Entstehungsseite als Summe der heimischen Energiegewinnung, den Bestandsveränderungen sowie dem Saldo aus Energiebezügen und -lieferungen abgelesen werden. Im Jahr 2019 belief sich der Primärenergieverbrauch in Rheinland-Pfalz auf 178,7 TWh (2018: 178 TWh). Durch Witterung und Konjunktur unterliegt der Einsatz von Energie kurzfristigen Schwankungen. Im Vergleich zum Jahr zuvor stieg er um 0,4 Prozent.

Wenn der Primärenergieverbrauch um Temperatureinflüsse bereinigt wird, ergibt sich ein fiktiver Verbrauchswert, der sich eingestellt hätte, wenn die Temperaturen des jeweilig betrachteten Jahres dem sogenannten meteorologischen langjährigen Mittel entsprochen hätten. Temperaturbereinigt fallen die jährlichen Schwankungen bei der Entwicklung des Primärenergieverbrauchs grundsätzlich etwas schwächer aus als unbereinigt. Im Jahr 2019 war die Witterung vergleichsweise mild und es musste weniger geheizt werden als in einem „Durchschnittswinter“. Der temperaturbereinigte Primärenergieverbrauch war 2019 mit 182,2 TWh etwas höher als der unbereinigte Wert. Im Vergleich zum Vorjahr sank der Primärenergieverbrauch temperaturbereinigt geringfügig, und zwar um 0,2%.

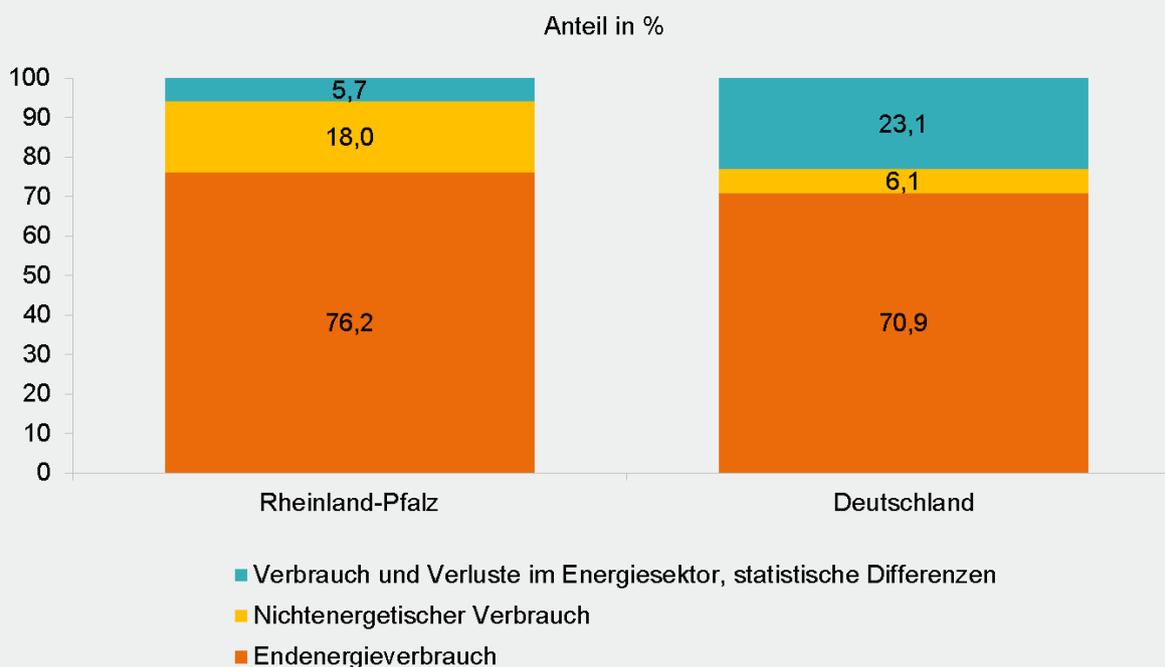
Gleichzeitig blieb das Bruttoinlandsprodukt unverändert.

Gegenüber 1990 nahm der Primärenergieverbrauch um 11% zu (temperaturbereinigt: +12%). Insbesondere in den 1990er Jahren wuchs der Verbrauch von Mineralölen und Mineralölprodukten sowie Erdgas. Während der Verbrauch von Mineralölen und Mineralölprodukten jedoch über den gesamten Betrachtungszeitraum von 1990 bis 2019 rückläufig war (-12%), nahm der Verbrauch von Erdgas um 55% zu. Mineralöle und Mineralölprodukte decken heute noch etwa 40% des Primärenergieverbrauchs (1990: 50%). Der Anteil von Erdgas am Gesamtverbrauch beläuft sich heute auf rund 38% (1990: 28%).

Auch die erneuerbaren Energien haben langfristig an Bedeutung gewonnen. Zur Deckung des Primärenergieverbrauchs 2019 trugen sie einen Anteil von 14% bei (1990: 0,9%). Es ist zu beachten, dass hier nur der Verbrauch von Primärenergieträgern berücksichtigt wird. Darüber hinaus wird der nach Rheinland-Pfalz eingeführte Strom ebenfalls zunehmend aus erneuerbaren Energieträgern produziert. Details über die Erzeugungs- und Lieferstrukturen von Strom aus anderen Bundesländern bzw. dem Ausland sind allerdings aus den verfügbaren Statistiken nicht bekannt.

Abb. 1

Primärenergieverbrauch in Rheinland-Pfalz und in Deutschland 2019 nach Verwendungsarten



Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2021),
Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (Berechnungsstand: September 2020)

© Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

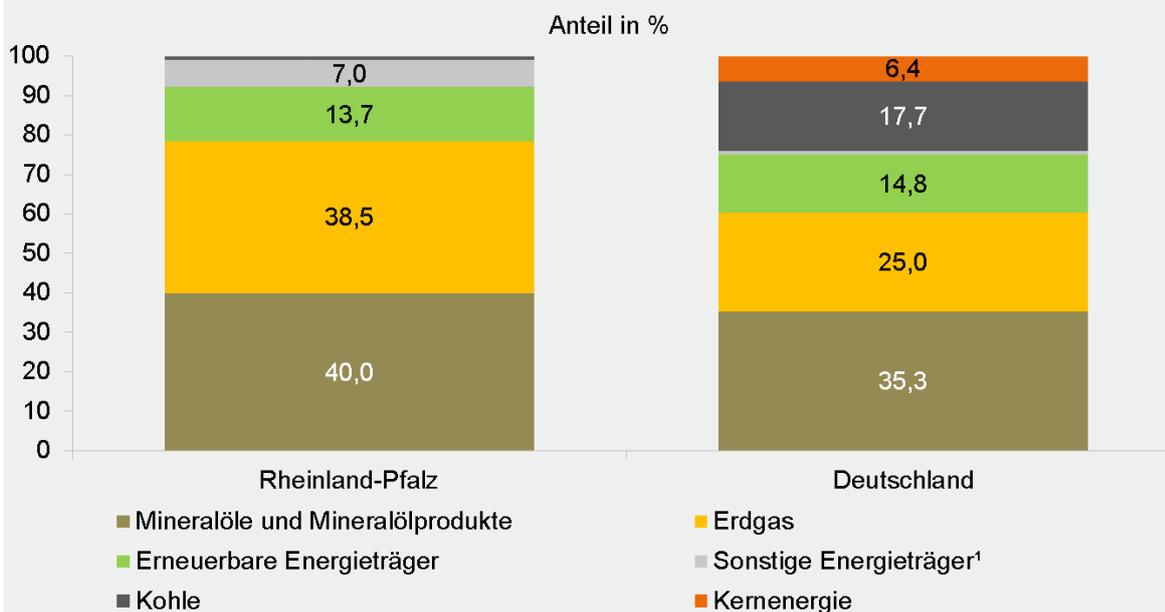
Zwischen 2000 und 2019 nahm der Primärenergieverbrauch in Rheinland-Pfalz um 0,8% ab. In den letzten zehn Jahren schwankte er um einen Durchschnittswert von rund 179 TWh. In Deutschland lag der Primärenergieverbrauch im Gegensatz zu Rheinland-Pfalz durchweg unter dem Ausgangswert von 1990; zwischen 1990 und 2019 verringerte sich der Verbrauch um 14% (2000 bis 2019: -11%).

Im Gegensatz zur bundesweiten Entwicklung zeigt der Primärenergieverbrauch in Rheinland-Pfalz keine rückläufige Tendenz. Dies dürfte u. a. mit der unterschiedlichen Indust-

riestruktur zusammenhängen. Den Verbrauchern in Rheinland-Pfalz stehen rund drei Viertel der Primärenergie für den Endverbrauch zur Verfügung (2019: 76% in Rheinland-Pfalz, 71% in Deutschland). Die Menge an Energieträgern, die in Rheinland-Pfalz nicht-energetisch eingesetzt wurde (z. B. Rohbenzin und Erdgas in der Chemischen Industrie), lag 2019 bei 32,2 TWh (2018: 32,9 TWh). Diese Menge entspricht 18% des Primärenergieverbrauchs. Im Vergleich zu den anderen Bundesländern ist dies ein sehr hoher Wert, was im Wesentlichen auf die große Bedeutung der Chemischen Industrie in Rheinland-Pfalz zurückzuführen ist. Der Anteil des nicht-energetischen Verbrauchs in

Abb. 2

Primärenergieverbrauch in Rheinland-Pfalz und in Deutschland 2019 nach Energieträgern



¹ Stromaustauschsaldo, Abfälle (fossiler Anteil), sonstige hergestellte Gase, Fernwärme.
 Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2021),
 Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (Berechnungsstand: September 2020)

© Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Rheinland-Pfalz am nicht-energetischen Verbrauch Deutschlands lag 2019 bei 15% (2018: ebenfalls 15%). Der gesamte rheinland-pfälzische Verbrauch von Primärenergie machte dagegen nur 5% des Bundesverbrauchs aus (2018: 4,9%). Zwischen 1990 und 2019 nahm der nicht-energetische Verbrauch hierzulande um 12% zu, während er in Deutschland um 19% zurückging.

Der Verbrauch von Energie für die Umwandlungsprozesse der Energieerzeugung und die Leitungsverluste beliefen sich 2019 auf 10,3 TWh (2018: 10,2 TWh). Hier spiegelt sich die in Rheinland-Pfalz vergleichsweise

geringe Eigenerzeugungsquote bei elektrischem Strom wider. Im Jahr 2019 machten der Verbrauch und die Verluste bei der Energieumwandlung nur 5,7% des Primärenergieverbrauchs aus. Bundesweit belief sich der Anteil dagegen auf 23%.

Hinsichtlich der Struktur der eingesetzten Energieträger zur Deckung des Primärenergieverbrauchs bestehen ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen Rheinland-Pfalz und Deutschland: Kohle und Kernkraft haben bundesweit einen wesentlich höheren Stellenwert als in Rheinland-Pfalz. Während Kohle 2019 hierzulande nur 0,9% des Primär-

energieverbrauchs deckte, belief sich der Anteil in Deutschland auf 18%. Die Kernenergie spielt - abgesehen von der kurzzeitigen Nutzung des Kernkraftwerks Mülheim-Kärlich in den 1980er-Jahren - für die Energieerzeugung in Rheinland-Pfalz keine Rolle. Deutschlandweit trug die Kernenergie 6,4% zur Deckung des Primärenergieverbrauchs bei (1990: 11%, 2000: 13%).

An erster Stelle stehen bei der Deckung des Primärenergieverbrauchs sowohl in Rheinland-Pfalz als auch in Deutschland die fossilen Energieträger. Hierzu zählen z. B. Mineralöle und Mineralölprodukte sowie Erdgas. Fossile bzw. konventionelle Energieträger sind im Gegensatz zu erneuerbaren bzw. regenerativen Energien nur begrenzt verfügbar. Sie können z. B. für die Stromproduktion weitgehend klima- und wetterunabhängig genutzt werden und damit Produktionsschwankungen von erneuerbaren Energien ausgleichen. Bei der energetischen Verwendung von fossilen Energieträgern wird aber bei den Verbrennungsprozessen u. a. das klimaschädliche Treibhausgas CO₂ ausgestoßen. Erneuerbare Energieträger, insbesondere Wind, Wasser und Sonne, sind dagegen als nicht CO₂-relevant einzustufen.

Der Anteil der fossilen Energieträger zur Deckung des Primärenergieverbrauchs belief sich in Rheinland-Pfalz und in Deutschland zu Beginn des Betrachtungszeitraums noch auf rund 99%. Seit Mitte der 1990er-Jahre

wächst die Bedeutung der erneuerbaren Energien jedoch. Die Menge an Energie aus erneuerbaren Quellen zur Deckung des Primärenergieverbrauchs stieg in Rheinland-Pfalz zwischen 1990 und 2019 von 1,4 TWh auf 24,5 TWh. Biomasse hatte dabei mit 53 Prozent den höchsten Anteil. Zur Biomasse zählen insbesondere feste biogene Stoffe (vor allem Brennholz).

4.4 Entwicklung des Endenergieverbrauchs

Der Endenergieverbrauch in Rheinland-Pfalz belief sich 2019 auf 136,2 TWh. Er umfasst die Energiemenge, die von den Endverbrauchern z. B. in Form von Heizöl, Strom und Benzin eingesetzt wurde. Gegenüber dem Jahr zuvor gab es einen leichten Zuwachs von einem Prozent (2018: +2,1%). Üblicherweise unterliegt der Endenergieverbrauch etwas kräftigeren Schwankungen. In den letzten zehn Jahren lag die Spannweite der jährlichen Änderungsraten zwischen -6,5% und +4,7%.

Wird der Endenergieverbrauch um Temperatureinflüsse bereinigt, ergibt sich für 2019 ein um 3,5 TWh (+2,6%) höherer Verbrauchswert (139,7 TWh). Dies ist auf eine vergleichsweise milde Witterung zurückzuführen, die nun schon das sechste Jahr in Folge zu beobachten war. Dadurch war der Heizbedarf im Winter unterdurchschnittlich. Temperaturbereinigt stieg der Verbrauch 2019 gegenüber dem Vorjahr um 0,1% (2018: +3,7%).

Der Endenergieverbrauch kann nach drei Verbrauchergruppen (Sektoren) aufgegliedert werden. Neben der Industrie gibt es die Bereiche Verkehr sowie Haushalte und Kleinverbraucher. Den höchsten Verbrauch verursachte 2019 der Sektor Haushalte und Kleinverbraucher, auch

Haushalte/GHD (GHD: Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) genannt. Dieser Sektor umfasst Privathaushalte, kleingewerbliche Betriebe, den öffentlichen und privaten Dienstleistungsbereich, den Groß- und Einzelhandel, die Landwirtschaft und das Militär. Der Verbrauch an Endenergie im Sektor Haushalte/GHD belief sich 2019 auf 57,5 TWh. Dies entspricht einem Anteil von 42% am gesamten Endenergieverbrauch des Landes. An zweiter Stelle folgt die Industrie mit einer Verbrauchsmenge von 42,6 TWh und einem Anteil von 31% am Gesamtverbrauch. Der Verkehrssektor lag mit 36 TWh bzw. einem Anteil von 26% an dritter Stelle.

Wie in Rheinland-Pfalz verbraucht der Sektor Haushalte/GHD auch bundesweit die meiste Energie (2019: 41%). Der Verkehrssektor hatte in Deutschland einen Anteil von 31% am Endenergieverbrauch; dies waren 4,1 Prozentpunkte mehr als in Rheinland-Pfalz. Dagegen ist der Anteil des Industriesektors am Endenergieverbrauch hierzulande deutlich höher: In Deutschland lag der Anteil der Industrie 2019 bei 28%. Dies waren 3,3 Prozentpunkte weniger als in Rheinland-Pfalz. Die Ursache für den Unterschied dürfte sein, dass die besonders energieintensiven Industriebranchen, vor allem die Chemische

Industrie, für die rheinland-pfälzische Wertschöpfung eine deutlich größere Rolle spielen als für die Wertschöpfung in Deutschland.

Der rheinland-pfälzische Anteil am gesamten deutschen Endenergieverbrauch lag 2019 bei 5,4%. Im Sektor Industrie war der Anteil von Rheinland-Pfalz mit 6,1% am höchsten. In den Sektoren Haushalte/GHD und Verkehr beliefen sich die rheinland-pfälzischen Anteile auf 5,5% und 4,7%.

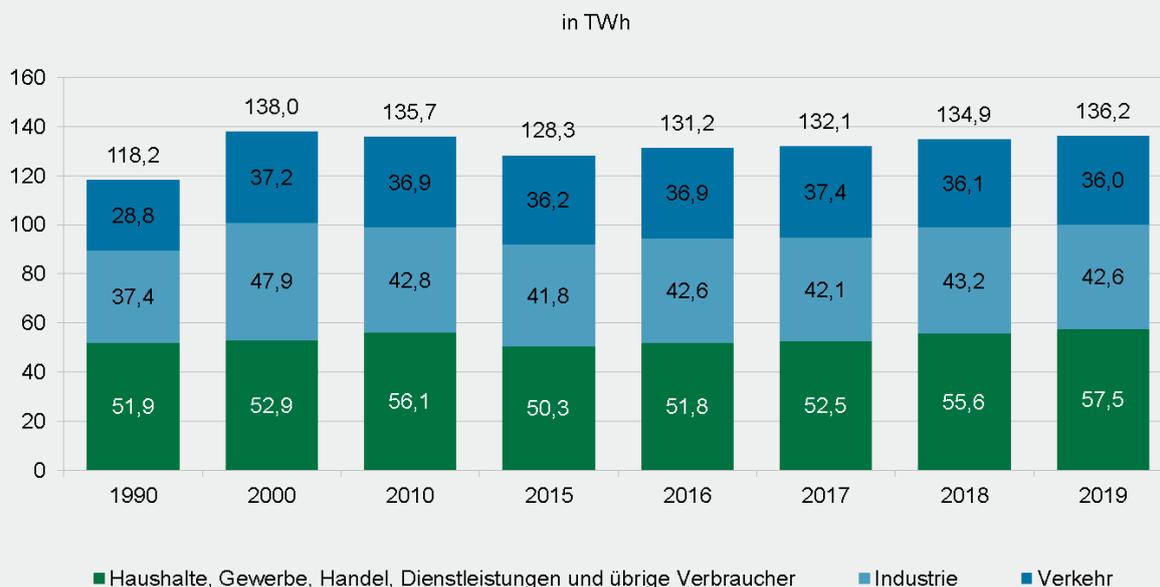
Der gesamte Endenergieverbrauch ging in Rheinland-Pfalz zwischen 2000 und 2019 um 1,3% zurück. Er liegt jedoch 15% über dem Niveau des Jahres 1990. Dabei nahm der Verbrauch im Verkehrssektor mit einem Plus von 25% im Vergleich zu 1990 besonders deutlich zu. Dies ist vor allem auf Verbrauchssteigerungen in den 1990er-Jahren zurückzuführen. Seit 2000 schwankt der Verbrauch im Verkehrssektor um einen Durchschnittswert von rund 37 TWh.

Der Energieverbrauch in der Industrie nahm im Vergleich zu 1990 um 14% zu. Auch dies ist auf Steigerungen in den 1990er-Jahren zurückzuführen. Danach konnte der Energieeinsatz im Industriesektor zum Teil wieder reduziert werden; gegenüber 2000 ist ein Minus von 11% zu verzeichnen. Mehr Energieeffizienz und verbesserte Technologien dürften hierfür

ursächlich gewesen sein. Die Verbrauchseinsparungen wurden allerdings im Wesentlichen zwischen 2000 und 2010 realisiert. Seitdem ist der Energieverbrauch in der Industrie - abgesehen von jährlichen Schwankungen - relativ stabil. Im Jahr 2019 ging der Verbrauch um 1,3% zurück. Die Ursache dafür dürfte die schlechte Wirtschaftslage in diesem Jahr gewesen sein. Die Industrieumsätze schrumpften 2019 um 7,2%.

Der Energieverbrauch der Haushalte und Kleinverbraucher liegt heute auf einem höheren Niveau als 1990 (+11%); im Vergleich zu 2000 nahm der Verbrauch um 8,6% zu. In den letzten fünf Jahren stieg der Endenergieverbrauch in diesem Sektor kontinuierlich. Besonders kräftig wuchs 2019 der Verbrauch von Mineralölen und Mineralölprodukten. Obwohl die Verbraucherpreise für Heizöl in diesem Jahr insgesamt moderat zunahm (+2,2%), traten monatliche Schwankungen auf und zum Ende des Jahres sanken die Preise mehrere Monate in Folge. Verbunden mit Erwartungen über wieder zunehmende Preise dürfte dies die Nachfrage nach Heizöl 2019 beeinflusst und zu Bestandsaufstockungen geführt haben. Tatsächlich gingen die Preise 2020 jedoch als Folge der unerwarteten weltweiten Corona-Krise noch weiter zurück.

Abb. 3 Endenergieverbrauch 1990 - 2019 nach Verbrauchergruppen



Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2021)

© Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

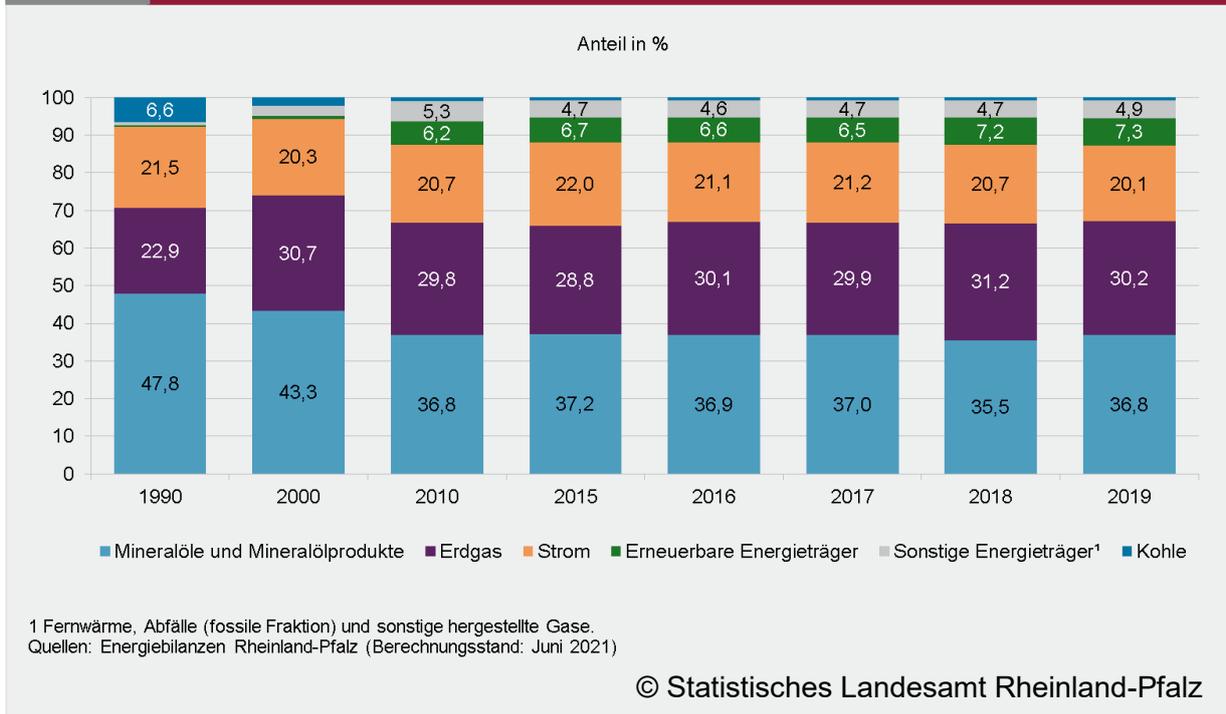
Bei der Zusammensetzung des Energieträgermix unterscheidet sich der Endenergieverbrauch vom Primärenergieverbrauch. Die Unterschiede ergeben sich vor allem durch die Umwandlungsprozesse in den Energiekraftwerken. Dadurch ist beispielsweise der ausgewiesene Anteil der erneuerbaren Energien beim Primärenergieverbrauch höher als beim Endenergieverbrauch: Erneuerbare Energien, die indirekt - z. B. in Form von Strom - für die Deckung des Endenergieverbrauchs zum Einsatz kommen, werden hier nicht separat ausgewiesen, sondern gehen in den

Bereich Strom ein. Beim Endverbrauch wird so nur die direkte Nutzung von Energie aus regenerativen Energiequellen berücksichtigt. Der Anteil der erneuerbaren Energien zur Deckung des Primärenergieverbrauchs belief sich 2019 auf 14% (Deutschland: 15%); während der direkt ausgewiesene Anteil am Endenergieverbrauch dagegen bei 7,3% des Energieverbrauchs lag (Deutschland: 7,6%).¹

Bei der Deckung des Endenergieverbrauchs kommt den fossilen Energieträgern die größte Bedeutung zu. In Rheinland-Pfalz werden zwei Drittel des Ver-

¹ Würde die Nutzung von den in Rheinland-Pfalz eingesetzten erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung - entgegen der hier zugrundeliegenden Systematik - zusätzlich berücksichtigt, ergäbe sich ein Anteil von ca. 15% bis 16%. Hinzu kämen die eingesetzten erneuerbaren Energien für die Stromimporte nach Rheinland-Pfalz. Hierüber liegen jedoch keine Informationen vor.

Abb. 4 Endenergieverbrauch 1990 - 2019 nach Energieträgern



brauchs über die fossilen Energieträger Mineralöle bzw. Mineralölprodukte und Erdgas gedeckt. Mineralöle bzw. Mineralölprodukte kamen 2019 mit 37% (50,1 TWh) auf den höchsten Anteil. Trotzdem ist der Anteil der Mineralöle und Mineralölprodukte seit 1990 rückläufig (1990: 48%). Der Verbrauch von Erdgas belief sich 2019 auf 41,1 TWh. Dies entspricht einem Anteil an der Deckung des Energieverbrauchs von 30%. Dieser Anteil hat langfristig zugenommen (1990: 23%).

Strom machte 2019 mit 27,4 TWh gut ein Fünftel des Endenergieverbrauchs aus. Damit liegt der Anteilswert in etwa auf dem gleichen Niveau wie zu Beginn des Betrachtungszeitraums.

Bundesweit ist der Energieträgermix ähnlich: Der Endenergieverbrauch wird größtenteils durch Mineralöle und Mineralölprodukte gedeckt (2019: 39%). An zweiter Stelle folgt Erdgas (2019: 23%), wobei der Anteil bundesweit geringer ist als in Rheinland-Pfalz (Differenz 2019: 7,2 Prozentpunkte). Dafür kommt dem Einsatz von Kohle bundesweit eine höhere Bedeutung zu als hierzulande. Der Kohleanteil belief sich in Rheinland-Pfalz 2019 nur auf 0,7%, in Deutschland aber auf 4,6%. Erneuerbare Energieträger hatten bundesweit einen ähnlichen Stellenwert wie in Rheinland-Pfalz.

In den drei Verbrauchssektoren ist die Zusammensetzung der eingesetzten Energieträger unterschiedlich:

Für den Sektor Haushalte/GHD ist Erdgas der wichtigste Energieträger; der Beitrag zur Deckung des sektorspezifischen Endenergieverbrauchs belief sich 2019 auf 35% (20,4 TWh). Mineralöle und Mineralölprodukte lieferten einen Beitrag von 27%. Dies entsprach einem Verbrauch von 15,7 TWh. Davon entfiel der Großteil auf leichtes Heizöl. Leichtes Heizöl wird in vielen Haushalten für die Beheizung und auch für die Warmwasserbereitung eingesetzt. Mit Strom wurde 21% des Endenergieverbrauchs im Sektor Haushalte/GHD (12,3 TWh) gedeckt.

Erneuerbare Energieträger haben bei den Haushalten und Kleinverbrauchern einen höheren Stellenwert als in der Industrie und im Verkehrssektor. Der Anteil zur Deckung des Energieverbrauchs des Sektors Haushalte/GHD belief sich 2019 auf 12% (direkt, d. h. ohne Berücksichtigung von Strom und Fernwärme). Dies entspricht 7,2 TWh. Die Energie aus erneuerbaren Quellen stammte zu 80% aus Brennholz.

Wie für den Sektor Haushalte/GHD hat Erdgas als Energiequelle auch für den En-

denergieverbrauch des Industriesektors die größte Bedeutung. Im Jahr 2019 wurden in der Industrie 20,7 TWh Erdgas verbraucht. Die Menge deckte fast die Hälfte des Verbrauchs der Industrie für energetische Zwecke (2019: 49%).¹ Im Industriesektor ist die Chemische Industrie der größte Endverbraucher von Erdgas; sie verbrauchte 2019 mehr als die Hälfte des gesamten im Industriesektor eingesetzten Erdgases. Darüber hinaus werden größere Erdgasmengen in den Betrieben der keramik- und glasverarbeitenden Industrie, in der Papierproduktion sowie in der Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln verbraucht.

Die zweitwichtigste Energiequelle für die Industrie ist Elektrizität. Mit 14,7 TWh hatte Strom 2019 einen Anteil von 34% an der Deckung des Endenergieverbrauchs in diesem Sektor. Auch hier entfällt mit 47% der größte Anteil auf die Chemiebranche.

Alle anderen Energieträger kamen in der Industrie nur in geringem Maß zum Einsatz. Unter den fossilen Energieträgern deckten Mineralöle bzw. Mineralölprodukte und Kohle 2019 zusammen 3% des energetischen Verbrauchs der Industrie. Die Gruppe der sonstigen Energieträger, zu der u. a. Fernwärme und Abfall zählen, deckte

¹ Beim Endenergieverbrauch wird ausschließlich die energetische Nutzung von Energieträgern dargestellt. In der Industrie werden Energieträger jedoch auch als Rohstoffe nicht-energetisch eingesetzt.

2019 mit 4,9 TWh 12% des Endenergieverbrauchs der Industrie. Die erneuerbaren Energien kamen auf einen Anteil von 2,4% (wieder ohne Berücksichtigung der indirekten Nutzung beim Verbrauch von Strom- und Fernwärme).

Im Verkehrssektor haben die mineralölbasierten Energieträger derzeit mit Abstand die größte Bedeutung: Otto-, Diesel- und Flugturbinenkraftstoffe hatten 2019 einen Anteil von 94% an der Deckung des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor. Im Jahr 2009 lag dieser Anteil bei 93%. Veränderungen in nennenswerter Größenordnung waren in den letzten zehn Jahren trotz der EU-weit umweltpolitisch forcierten Steigerung der Biokraftstoffquoten und einer steigenden Zahl von Fahrzeugen mit alternativen Antriebstechnologien noch nicht zu erkennen.

4.5 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Bereich der Mobilität

Mit dem europäischen ‚Green Deal‘ aus dem Jahr 2019 und der darauffolgenden Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität verfolgt die EU verschiedene Etappenziele auf dem Weg zu einem nahezu emissionsfreien Verkehr bis 2050. Hierfür sind strukturelle Änderungen im Verkehrssystem geplant, insbesondere der Umstieg auf neue Technologien und die Verkehrsverlagerung (z. B. von der Straße auf die Schiene). Bisher dominieren im Bereich der Mobilität klassische Technologien auf der Basis der Verbrennung von fossilen Energieträgern. Dies ist nicht nur mit global klimaschädlichen Treibhausgasemissionen, sondern auch mit lokalen Schadstoff- und Lärmemissionen verbunden.

Der Endenergieverbrauch im Verkehrssektor schwankt in Rheinland-Pfalz seit etwa 20 Jahren um einen Durchschnittswert von 37 TWh. Im Jahr 2019 belief sich der Verbrauch wie im Jahr zuvor auf rund 36 TWh. Die Entwicklung des mobilitätsbedingten Energieverbrauchs wird maßgeblich durch den Straßenverkehr bestimmt. Dieser machte 2019 rund 94% des gesamten verkehrsbedingten Endenergieverbrauchs aus. Dies entspricht 33,8 TWh (+1% gegenüber 2018). Langfristig veränderte sich der Energieverbrauch im Straßenverkehr -

abgesehen von leichten jährlichen Schwankungen - nur wenig. Auch auf Preisänderungen reagierten die Kraftfahrer eher schwach, weil die Nachfrage nach Kraftstoffen grundsätzlich relativ preiselastisch ist. Eine Steigerung des Benzin- bzw. Dieselpreises führt also nicht sofort zu einem Rückgang an der Kraftstoffnachfrage. Auch kräftige Preisänderungen haben oft nur geringe Auswirkungen auf die getankten Mengen an Kraftstoff. Im Jahr 2012 beispielsweise befanden sich die Kraftstoffpreise in Rheinland-Pfalz auf einem Höchststand, der 15% über dem Niveau von 2019 lag. Außerdem waren die Preise das dritte Jahr in Folge kräftig gestiegenen. Dies zog einen Rückgang des Energieverbrauchs im Straßenverkehr um lediglich 1,6% nach sich.

Der meistgenutzte Kraftstoff im Verkehrssektor ist Diesel. Er trug 2019 rund 55% zur Deckung des Endverbrauchs im Verkehrssektor bei (2018: 54%). Die getankte Menge an Dieselmotorkraftstoff (ohne den biogenen Anteil) hatte 2019 einen Energiegehalt von umgerechnet 19,8 TWh (davon für den Straßenverkehr 19,3 TWh). Gegenüber dem Jahr zuvor stieg der Verbrauch an Diesel um 1,2%.

In den 90er-Jahren wurde dagegen noch mehr als die Hälfte des Energiebedarfs mit Ottokraftstoffen gedeckt. Im Jahr 1990 lag der Ottokraftstoffanteil bei 61%. Mit der systematischen steuerlichen Bevorteilung von Diesel bei der Mineralöl- bzw. Energiesteuer stiegen jedoch die Anreize für eine Umstellung auf dieselbetriebene Kraftfahrzeuge, insbesondere bei Energieverbrauchern mit einer hohen durchschnittlichen Jahresfahrleistung. Der Verbrauch von Diesel machte im Betrachtungszeitraum erstmals 2012 mehr als die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs im Verkehrssektor aus. Die verbrauchten Dieselmotorkraftstoffmengen nahmen danach durchgehend weiter zu und erreichten 2017 einen Höchststand mit 56% des Gesamtverbrauchs im Verkehrssektor.

Durch den Skandal um die Höhe der umweltschädlichen Abgaswerte von Dieselfahrzeugen gerieten Dieselmotoren aber in die Kritik. Die Zahl der Neuzulassungen von Diesel-Pkw ging in Rheinland-Pfalz 2017 und 2018 zunächst kräftig zurück (-16% bzw. -15%), nahm jedoch 2019 wieder zu (+5,1%). Die Entwicklung der Zahl der neu zugelassenen Benziner verlief gegenläufig: Sie sank 2019 (-2,4%), nachdem sie in den Jahren 2017 und 2018 zweimal in Folge gestiegen war (+9,6% bzw. +8,7%). Der Einfluss der Neuzulassungen

auf den Bestand an Fahrzeugen und damit auch auf die Fahrleistung ist jedoch gering, sodass mögliche Effekte auf die Nachfrage nach Kraftstoffen sich nicht im Gesamtverbrauch niederschlagen. Die zunehmende Zahl an Neuzulassungen mit alternativen Kraftstoffen bzw. Hybridfahrzeugen macht sich bisher ebenfalls nicht in den Verbrauchsmengen bemerkbar.

Für den Bestand an Kraftfahrzeugen haben die konventionell angetriebenen Fahrzeuge weiterhin eine sehr hohe Bedeutung. Am PKW-Bestand hatten Benzin- und Dieselfahrzeuge am Stichtag 1. Januar 2020 in Rheinland-Pfalz einen Anteil von rund 98% (1. Januar 2021: 97%).

Berechnungen über die Fahrleistungen der in Rheinland-Pfalz zugelassenen Kraftfahrzeuge liegen aus den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder (UGRdL) für den Zeitraum 2008 bis 2018 vor.⁸ Abgesehen von einem Methodenbruch im Jahr 2017, der den Zeitvergleich einschränkt, nahmen die Fahrleistungen in diesem Zeitraum durchgehend zu. Der Energieverbrauch im Straßenverkehr folgte dieser Entwicklung jedoch nicht, sondern schwankte stattdessen um einen Durchschnittswert von rund 34 TWh. Der Effekt effizienterer Motoren, die zu einem geringeren durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch

⁸ Die Ergebnisse der UGRdL sind online abrufbar unter: <https://www.statistikportal.de/de/ugrdl>.

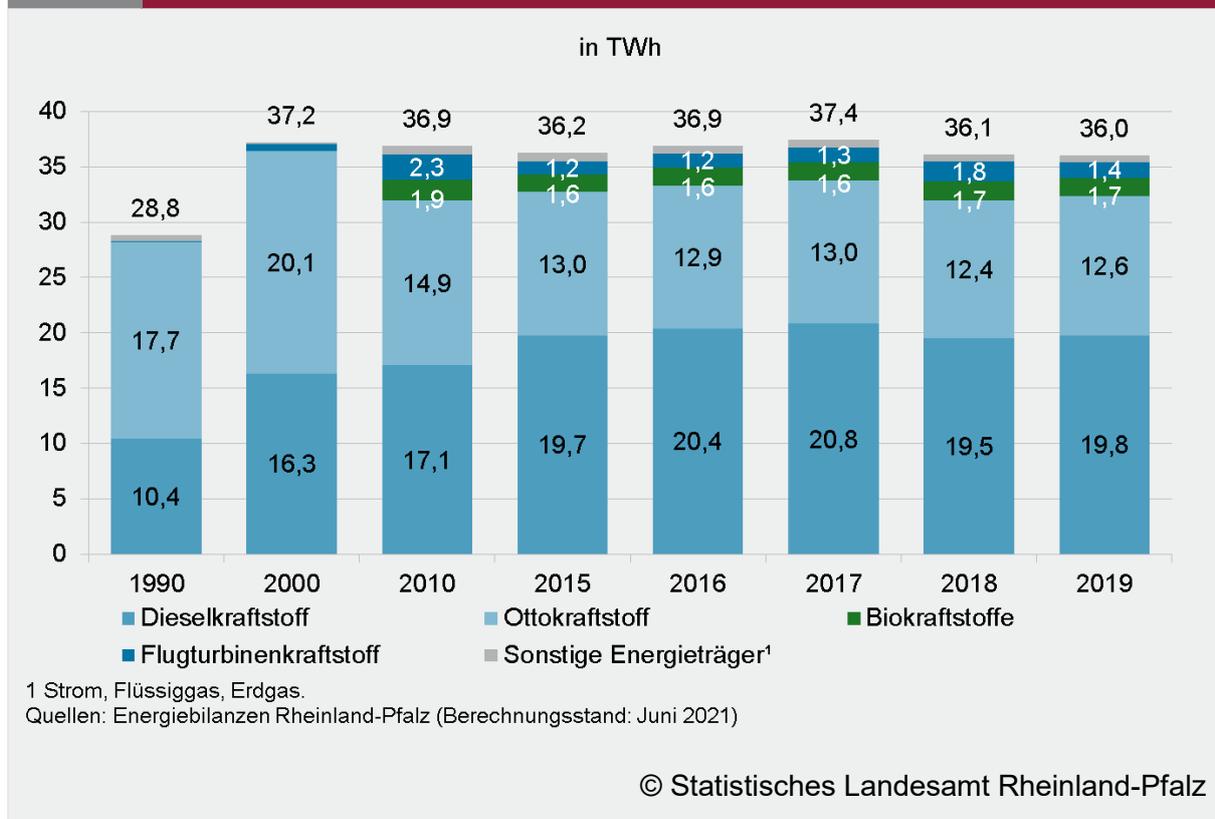
pro Kilometer führten, wurde durch die zunehmende Fahrleistung kompensiert.

Daten zur Fahrleistung in Rheinland-Pfalz differenziert nach diesel- und benzinbetriebenen Fahrzeugen liegen in der amtlichen Statistik nicht vor. Allerdings weisen Dieselfahrzeuge im Jahresdurchschnitt üblicherweise eine höhere Fahrleistung auf als Fahrzeuge mit Benzinmotor. Zudem sind Lastkraftwagen in der Regel mit Dieselmotoren ausgestattet (am 1. Oktober 2019: 95%). Dies erklärt, weshalb in Rheinland-Pfalz mehr Diesel- als Ottokraftstoff getankt wird, obwohl der Durchschnittsverbrauch

bei Diesel im Vergleich zu Benzin pro gefahrenem Kilometer geringer ist und Benzinfahrzeuge rund 60% des Kfz-Bestands ausmachen (am 1. Oktober 2019: 62%). Benzin trug 2019 „nur“ 35% bzw. 12,6 TWh zur Deckung des gesamten verkehrsbedingten Endenergieverbrauchs bei. Der Benzinanteil speziell im Straßenverkehr belief sich 2019 auf 37%; der Anteil von Dieselmotoren lag bei 57%.

Der Stromverbrauch im Straßenverkehr war bisher vernachlässigbar: Strom deckte 2019 nur 0,04% des Energieverbrauchs im Straßenverkehr. Am 1. Oktober 2019 waren in Rheinland-Pfalz 6.442 Fahrzeuge mit

Abb.5 Endenergieverbrauch im Verkehrssektor 1990 - 2019 nach Energieträgern



reinem Elektroantrieb und 3.846 Plug-In-Hybride zugelassen. Dies entspricht zusammen einem Anteil von 0,3% am gesamten Kfz-Bestand (Deutschland: 0,4%). Bis zum Stichtag 1. Juli 2021 stiegen diese Anteilswerte auf 1,3% in Rheinland-Pfalz und 1,5% in Deutschland. Der Stromverbrauch im Straßenverkehr dürfte dadurch etwas zunehmen.

Die Kraftstoffe Erdgas und Flüssiggas besitzen nur eine sehr geringe Bedeutung für die Deckung des Energiebedarfs im Bereich Mobilität. Der Anteil belief sich 2019 auf 0,6% bezogen auf den gesamten Verkehrssektor bzw. auf 0,7% bezogen auf den Straßenverkehr.

Für den Luftverkehr ist Flugturbinenkraftstoff (Kerosin) mit einem Anteil von 99% der bedeutendste Energieträger. Ottokraftstoffe, die in den motorbetriebenen Kleinflugzeugen eingesetzt werden, sind demgegenüber vernachlässigbar. Der Energieverbrauch durch den Luftverkehr belief sich 2019 auf 1,4 TWh. Dies entspricht 3,8% des Energieverbrauchs im Verkehrssektor. Der höchste Energieverbrauch im Betrachtungszeitraum wurde 2007 mit 2,4 TWh verzeichnet. Diese Menge machte 6,5% des gesamten Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor aus. In den folgenden Jahren ging der Treibstoffverbrauch im Luftverkehr zurück, was auf ein geringer werden-

des Beförderungsaufkommen am Flughafen Hahn zurückzuführen war. Seit 2012 liegt der luftverkehrsbedingte Energieverbrauch unterhalb von 2 TWh.

Der Energieverbrauch durch den Schienenverkehr und die Binnenschifffahrt ist für den Verkehrssektor nur von nachrangiger Bedeutung. Diese beiden Verkehrsträger kamen 2019 gemeinsam auf einen Anteil von 2,3% am mobilitätsbedingten Endenergieverbrauch (2018: ebenfalls 2,3%). Dieser Anteil ist seit gut 15 Jahren nahezu unverändert. Im Schienenverkehr überwiegt durch die Elektrifizierung des Streckennetzes der Verbrauch von Strom. Im Jahr 2019 wurden 0,41 TWh Fahrstrom eingesetzt. Dies entsprach 1,1% des gesamten mobilitätsbedingten Endenergieverbrauchs. Der Verbrauch von Energie aus Dieselmotoren lag bei 0,25 TWh bzw. 0,7% bezogen auf den gesamten mobilitätsbedingten Endenergieverbrauch.

Die Binnenschifffahrt hat hierzulande im Vergleich zu den anderen Verkehrsarten die geringste Bedeutung. Im Jahr 2019 kamen in der Binnenschifffahrt 0,17 TWh Dieselmotoren zum Einsatz (z. T. mit biogenen Beimischungen).

Laut Energiebilanz 2019 belief sich der Anteil der Biokraftstoffe zur Deckung des gesamten Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor auf 4,7%. Die Menge an getankten Biokraftstoffen lag 2019 bei

1,7 TWh. Biokraftstoffe spielen seit Mitte der 2000er-Jahre eine nennenswerte Rolle für die Mobilität in Rheinland-Pfalz. In Deutschland lag der Anteil der Biokraftstoffe 2019 bei 4%.

Mit der Erneuerbare-Energien-Richtlinie von 2009 wurde in der EU das Ziel festgelegt, den Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch im Verkehrssektor bis 2020 auf mindestens 10% zu erhöhen. In der Neufassung von 2018 wurde ein Mindestwert von 14% bis 2030 festgesetzt. Der Bruttoendenergieverbrauch ist eine spezielle Bezugsgröße in der EU zur Quantifizierung der Ziele zum Ausbau der erneuerbaren Energien. Er unterscheidet sich vom Endenergieverbrauch, der in der Energiebilanz direkt nachgewiesen wird, u. a. durch die Einbeziehung von Verteilungs- und Übertragungsverlusten sowie dem in der Energiewirtschaft anfallenden Eigenverbrauch. Für die Berechnung des Anteils der erneuerbaren Energien werden außerdem die unterschiedlichen Arten von Biokraftstoffen und Strom aus erneuerbaren Quellen nach speziellen Kriterien gewichtet bzw. mit bestimmten Multiplikatoren versehen, die im Zähler und im Nenner der Kennzahl verschieden sein können. Nach der

EU-Methode lag der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch im Verkehrssektor in Deutschland bei 7,7%. Auf die Länderebene lässt sich die Berechnungsmethode der EU nicht direkt übertragen, u. a. weil keine Informationen über die Zusammensetzung der Biokraftstoffe vorliegen.⁹

Nach dem Energiekonzept der Bundesregierung belief sich der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch Verkehr 2019 auf 5,6 %. Für Rheinland-Pfalz lässt sich ein Anteil von 5,4% schätzen. Bei diesem Ansatz wird der aus erneuerbaren Energien gewonnene Strom, der im Verkehr genutzt wird, zu dem Biokraftstoffanteil hinzugerechnet. Auf Multiplikatoren wird hier verzichtet.

Bei der Interpretation dieser Anteilswerte sowie bei Vergleichen zwischen Ländern bzw. Regionen ist zu beachten, dass es unterschiedliche Kennzahlen zur Nutzung von erneuerbaren Energien im Verkehrssektor gibt. Die Angaben können - je nach verwendeter Methode und unterstellten Annahmen - voneinander abweichen.

⁹ Details zur Berechnung sind dem Methodenhandbuch der EU zu entnehmen: „SHARES Tool Manual“, Version 2020.101121; Abruf im Internet unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/energy/data/shares> [Stand: 15.11.2021]. Die vom Länderarbeitskreis Energiebilanzen veröffentlichten Angaben für die Bundesländer basieren nicht auf den aktuellen Methodenvorgaben dieses Handbuchs. Für Rheinland-Pfalz ergibt sich nach der Methode des Länderarbeitskreises Energiebilanzen ein Anteil von 4,9%.

4.6 Entwicklung der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs

Stromerzeugung

In Rheinland-Pfalz wurden 2019 insgesamt 21,4 TWh Strom erzeugt. Gegenüber dem Jahr zuvor bedeutet dies eine deutliche Zunahme um 7,1%. Auch langfristig nahm die Stromerzeugung kräftig zu; sie war 2019 um 187% höher als 1990. Gegenüber 2000 beträgt der Anstieg 151%. Dieser Zuwachs ist maßgeblich auf den Ausbau der erneuerbaren Energien zurückzuführen. Die erneuerbaren Energieträger machten 2019 in Rheinland-Pfalz mit 51% rund die Hälfte der im Land produzierten Strommenge aus; 1990 waren es erst 12% (2000: 17%).

Gegenüber 2018 nahm die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern um 7,3% auf 11 TWh zu. Die Windkraft wies hierbei als bedeutendster erneuerbarer Energieträger einen besonders hohen Zuwachs von 11% aus. Der Anteil der Windkraft am rheinland-pfälzischen Strommix erreichte damit 32%. Dies entspricht einer Strommenge von 6,9 TWh. Der Anstieg der Stromproduktion aus Windkraft 2019 dürfte vor allem darauf zurückzuführen sein, dass dieses Jahr relativ windstark war. Zudem wurden die Kapazitäten für die Erzeugung von Windenergie weiter leicht ausgebaut. Der Nettozubau fiel allerdings nach Angaben der Bundesnetzagen-

tur nicht mehr so kräftig aus wie in den Jahren zuvor. Die Zunahme der installierten Leistung der nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz geförderten Windkraftanlagen belief sich in Rheinland-Pfalz auf 3,1% (2018: +4,5%, 2017: +8,6%).

An zweiter Stelle folgt bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien die Fotovoltaik. Im Jahr 2019 stammten 9,6% der rheinland-pfälzischen Stromproduktion aus Fotovoltaik-Anlagen. Dies entspricht einer Menge von 2,1 TWh (+1,3% gegenüber 2018).

Biomasse und Wasserkraft sind für den Strommix in Rheinland-Pfalz weniger bedeutend. Sie kamen 2019 zusammen auf einen Anteil von 9,4%. Aus Biomasse wurden 1,1 TWh Strom gewonnen (2018: 1,2 TWh). Wasserkraftanlagen erzeugten mit 0,9 TWh wieder mehr elektrische Energie als im Jahr zuvor (+11%). In den Jahren 2017 und 2018 war die Stromerzeugung aus Wasserkraft aufgrund von Niedrigwasserphasen vergleichsweise gering ausgefallen.

Energieträgerspezifische Daten für die erneuerbaren Energien liegen seit 2005 vor. Seitdem belief sich der Zuwachs bei der Erzeugung von „grünem“ Strom auf 361%. Die Wachstumsdynamik ging auch langfristig vor

allein von den Energieträgern Windkraft und Fotovoltaik aus.

In den letzten fünf Jahren des Betrachtungszeitraums nahm die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern um 47% zu. Die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern blieb hingegen auf annähernd gleichem Niveau (-0,3%). Die Produktionsmenge unterliegt aber jährlichen Schwankungen. Eine Ursache hierfür dürfte u.a. sein, dass fossile Kraftwerke bei Engpässen in der Stromversorgung zugeschaltet werden. Die erzeugte Menge Strom auf Basis fossiler Energieträger belief sich 2019 auf 10,5 TWh. Gegenüber 2018 stieg die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern um 6,9% (2018: -8,9%). Der

Anteil der fossilen Energieträger an der heimischen Stromerzeugung belief sich 2019 auf 49% (2018: ebenfalls 49%); 1990 waren es noch 88% (2000: 83%).

Der Vergleich zwischen Rheinland-Pfalz und Deutschland zeigt strukturelle Unterschiede beim Strommix: Der Anteil der erneuerbaren Energieträger an der Stromproduktion lag 2019 auf der Bundesebene mit 40% deutlich

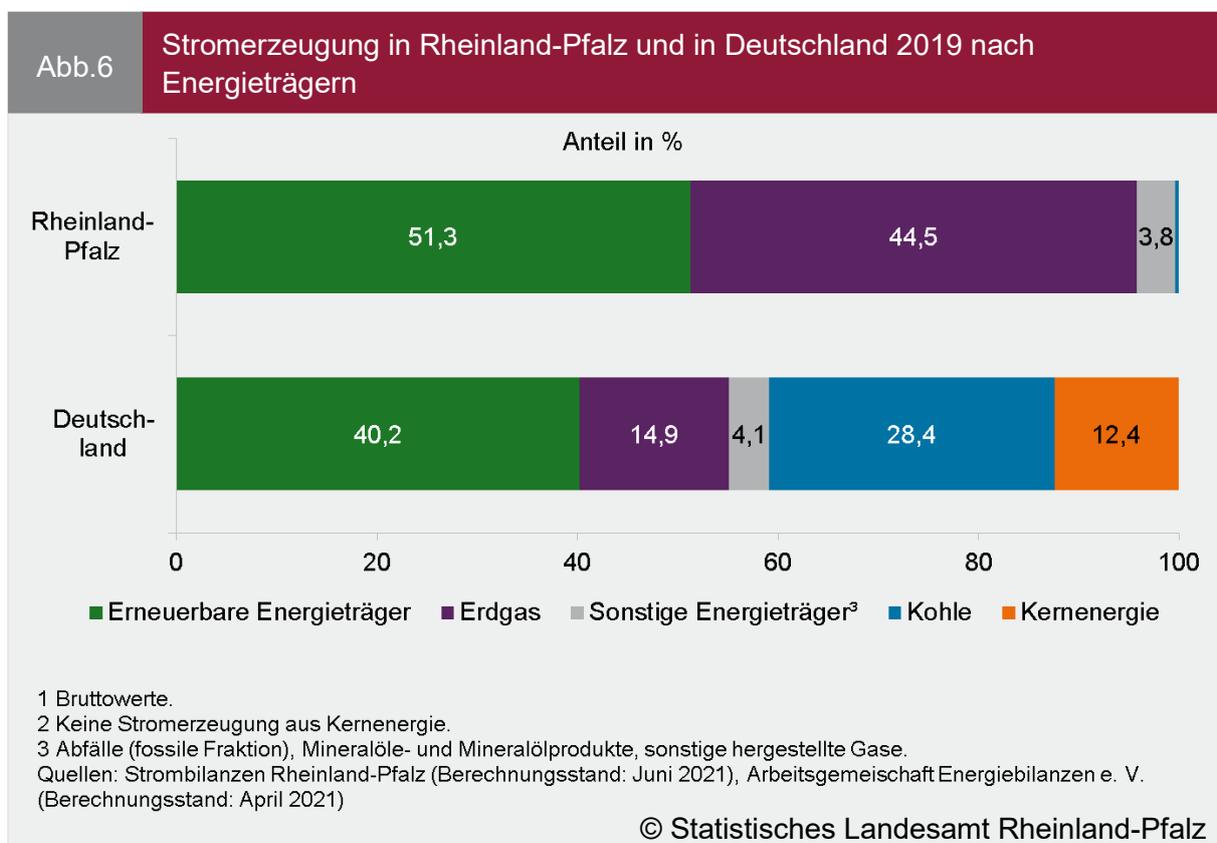
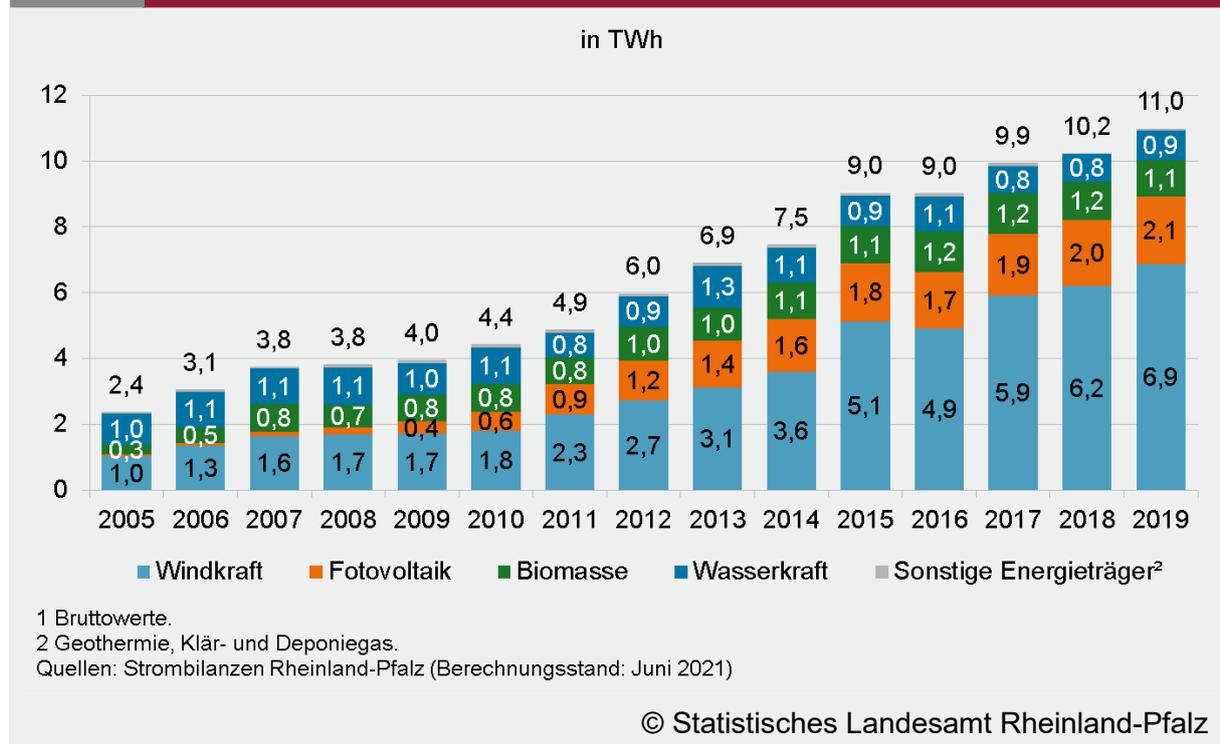


Abb.7 Stromerzeugung¹ aus erneuerbaren Energieträgern 2005 - 2019

unter dem rheinland-pfälzischen Niveau (Unterschied: 11 Prozentpunkte). Im langfristigen Vergleich hatte die regenerative Stromerzeugung in Rheinland-Pfalz durchweg einen höheren Anteilswert als in Deutschland. Allerdings reichte die jährlich produzierte Strommenge in Deutschland im Gegensatz zu Rheinland-Pfalz in der Regel aus, um den eigenen Bedarf selbst decken zu können.

Der wichtigste fossile Energieträger für die Stromerzeugung in Rheinland-Pfalz ist Erdgas. Dieser Energieträger hatte 2019 einen Anteil von 45% am rheinland-pfälzischen Strommix. Im deutschen Strommix belief sich der Anteil hingegen nur auf 15%. Im Ver-

gleich zu den anderen konventionellen Energieträgern ist die Stromherstellung aus Erdgas - abgesehen von der mit anderen Problemen bzw. Risiken behafteten Atomkraft - mit den geringsten CO₂-Emissionen verbunden.

Mit einem Anteil von 19% an der Stromerzeugung ist die Braunkohle der wichtigste fossile Energieträger für die deutsche Stromherstellung. Rechnet man Steinkohle hinzu, wurden rund 28% des deutschen Strommixes aus Kohle gewonnen. Für die rheinland-pfälzische Stromherstellung spielte Kohle dagegen keine nennenswerte Rolle; ihr Anteil an der Stromerzeugung war 2019 mit 0,4% sehr gering.

Die Kernkraft hat deutschlandweit mit 12% noch einen erheblichen Anteil an der Stromerzeugung. In Rheinland-Pfalz wird kein Strom aus Atomkraft erzeugt.

Bei den meisten Kraftwerken in Rheinland-Pfalz handelt es sich um reine Stromerzeugungsanlagen. Sie erzeugten 2019 rund 12 TWh Strom. Dies entspricht einem Anteil von 60% an der gesamten Stromerzeugung in Rheinland-Pfalz.

Bei den Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) werden elektrischer Strom und thermische Energie als Kuppelprodukte gleichzeitig erzeugt. In Rheinland-Pfalz lag die Netto-Stromerzeugung aus KWK 2019 bei 8,1 TWh.¹⁰ Im Vergleich zum Jahr zuvor ging sie um 1,9% zurück. Der Anteil erneuerbarer Energieträger an der Stromerzeugung aus KWK-Anlagen lag bei unverändert bei 3,1%.

In den letzten zehn Jahren schwankte die Stromerzeugung aus KWK zwischen 8 und 9,1 TWh. Der Anteil des Stroms aus KWK-Anlagen an der rheinland-pfälzischen Stromerzeugung ist aber langfristig rückläufig. Er belief sich 2019 auf rund 40% (2018: 44%). Zehn Jahre zuvor lag der Anteil noch bei 58%. In Deutschland spielen KWK-Anlagen

eine weniger bedeutende Rolle als in Rheinland-Pfalz. Der Anteil des Stroms aus KWK-Anlagen lag 2019 bei 21%.

Stromverbrauch

Der Stromverbrauch belief sich in Rheinland-Pfalz 2019 auf 28,7 TWh. Er war 2,1% niedriger als im Jahr zuvor. Im Vergleich zu 1990 stieg der Verbrauch um 5,4%. In den letzten zehn Jahren des Betrachtungszeitraums veränderte sich der Stromverbrauch kaum. Er bewegte sich um einen Wert von 29 TWh. Geringfügige jährliche Verbrauchsschwankungen sind üblich und lassen sich teilweise auf kurzfristige konjunkturelle Entwicklungen zurückführen.

Der rheinland-pfälzische Stromverbrauch wird zum einen durch die Erzeugung von Strom im Land sowie zum anderen durch Stromimporte aus anderen Bundesländern oder aus dem Ausland gedeckt. Von dem Stromaußenhandel ist allerdings nur der Saldo aus Importen und Exporten bekannt. Rheinland-Pfalz weist hier einen Importüberschuss auf. Durch den Zuwachs der heimischen Stromproduktion bei einem gleichbleibenden Stromverbrauch nahm der Importüberschuss langfristig ab. Rheinland-Pfalz ist somit in den letzten Jahren unabhängiger von Stromimporten geworden.

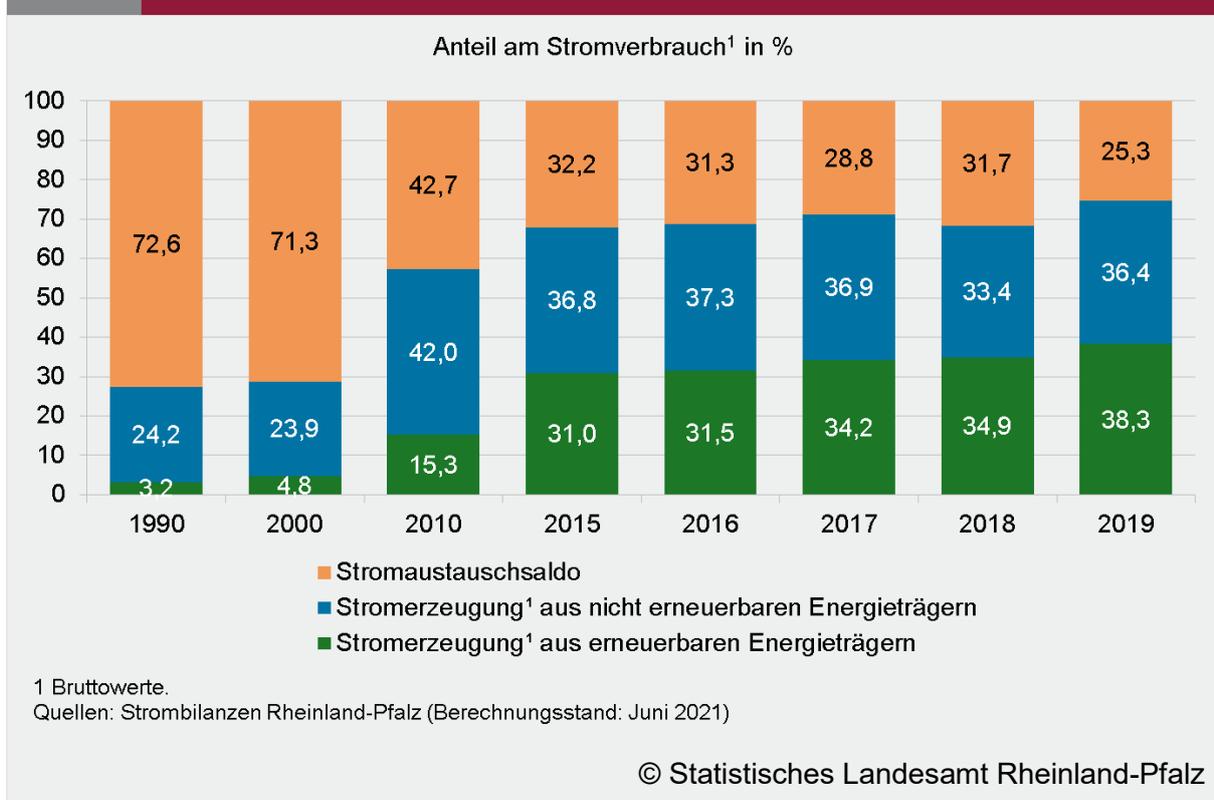
¹⁰ Hier werden ausschließlich Anlagen mit einer Nettonennleistung elektrisch von mindestens einem MW und mehr berücksichtigt. Bei der Stromerzeugung aus KWK können lediglich Netto-Werte angegeben werden.

Der Stromaustauschsaldo (Nettostromimport) sank 2019 auf 7,3 TWh. Dies war der niedrigste Wert im gesamten Betrachtungszeitraum. Im Vergleich zum Jahr zuvor sank er um 22%. Seit 2000 verringerte sich der Stromaustauschsaldo um 66%. Vor zehn Jahren wurde noch 43% des rheinland-pfälzischen Stromverbrauchs durch Nettoimporte gedeckt. Seitdem nahm der Anteil der Eigenherzeugung weiter zu. Der Anteil der Nettoimporte belief sich 2019 nur noch auf 25%. Damit erreichte die Eigenherzeugung in Rheinland-Pfalz mit einem Anteil von 75% am Stromverbrauch den bisherigen Rekordwert.

Stromverbrauchs in Rheinland-Pfalz. Dies entspricht einem Plus von 3,3 Prozentpunkten gegenüber 2018. In welchem Umfang der nach Rheinland-Pfalz importierte Strom aus erneuerbaren oder nicht erneuerbaren Quellen gewonnen wurde, lässt sich nicht ermitteln. Der genaue Strommix, der dem rheinland-pfälzischen Endenergieverbrauch zugrunde liegt, ist daher nicht bestimmbar. Da außerhalb von Rheinland-Pfalz Energieträger wie Kohle und Kernenergie immer noch eine Rolle spielen, dürfte sich dies auch im heimischem Verbrauch widerspiegeln.

Die heimische Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen deckte 38% des

Abb.8 Stromverbrauch¹ nach Erzeugungsstruktur 1990 - 2019



4.7 Entwicklung der Wärmeerzeugung und des -verbrauchs

Bei der Energienutzung werden in der Regel drei sogenannte Anwendungsbereiche unterschieden, und zwar die Bereiche Wärme bzw. Kälte, Strom und Verkehr. Im Bereich der Wärme bilden u. a. die Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU und das Gebäudeenergiegesetz des Bundes den gesetzlichen Rahmen. In Rheinland-Pfalz strebt die Landesregierung laut Koalitionsvertrag für die Periode 2021 bis 2026 eine „möglichst hohe und schnelle Durchdringung des Wärmesektors“ mit erneuerbaren Energien an.

Die wichtigsten Energieträger zur Erzeugung von Wärme sind fossile Energieträger, insbesondere Erdgas und Mineralöle bzw. Mineralölprodukte. Der Endenergieverbrauch in Rheinland-Pfalz wurde 2019 zu zwei Drittel mit diesen beiden Energieträgern gedeckt (Mineralöle bzw. Mineralölprodukte: 37%; Erdgas: 30%). Bundesweit belief sich der Anteil auf 62% (Mineralöle bzw. Mineralölprodukte: 39%; Erdgas: 23%). Erdgas wird hauptsächlich zur Wärmeerzeugung, aber auch zur Stromerzeugung genutzt. Energieträger auf Mineralölbasis sind neben der Verwendung im Wärmebereich insbesondere für den Verkehr in Form von Kraftstoffen von großer Bedeutung.

Die Energiebilanz weist den Energieverbrauch zum einen nach Energieträgern und zum anderen nach Verbrauchergruppen aus. Eine Unterscheidung nach Anwendungsbereichen ist leider nicht möglich. Für den Anwendungsbereich Wärme ist nur der Teil des Endenergieverbrauchs, der über Fernwärme gedeckt wird, direkt aus der Energiebilanz ersichtlich (2019 in Rheinland-Pfalz: 2,8%; in Deutschland: 4,3%). Die letzte Stufe der Energieverwendung, die Umwandlung der Energieträger in sogenannte „anwendungszweckbezogene Nutzenergien“ wie Raumwärme/-kälte, mechanische Energie, Licht etc. kann nicht auf Basis der Energiebilanz nachgewiesen werden. Es gibt jedoch auf Bundesebene zu diesem Thema weiterführende Analysen, deren Ergebnisse auch Rückschlüsse für die Bundesländer zulassen. Somit liegen auch für die Länderebene Informationen über die Energienutzung in den drei Anwendungsbereichen Wärme bzw. Kälte, Strom und Verkehr vor.

Die Ergebnisse zur Nutzenergie in den drei Anwendungsbereichen sind Teil der Berechnungen zum sogenannten Bruttoendenergieverbrauch. Diese Kennzahl ist die Bezugsgröße bei der Quantifizierung der

Ziele zum Ausbau der erneuerbaren Energien in der EU nach der Erneuerbare-Energien-Richtlinie. Für Deutschland wurde ein Ausbauziel in Höhe von 18% erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch bis 2020 festgelegt. Mit dem nationalen Energie- und Klimaplan (National Energy and Climate Plan – NECP) von 2020 kündigte die Bundesregierung für das Jahr 2030 ein Ausbauziel der erneuerbaren Energien von 30% am Bruttoendenergieverbrauch an. Im Teilbereich Wärme und Kälte wird bis 2030 ein Ziel von 27% angestrebt.

Die Daten zum Bruttoendenergieverbrauch und den Anteilen der erneuerbaren Energien werden für alle Mitgliedstaaten der EU von Eurostat veröffentlicht. Die Daten zum Bruttoendenergieverbrauch für die Bundesländer liegen analog zu den EU-Angaben für den Zeitraum 2005 bis 2019 vor. Sie werden auf der Basis einer Methode des Länderarbeitskreises Energiebilanzen geschätzt.¹¹

Der Bereich Wärme bzw. Kälte besitzt von den drei Anwendungsbereichen die größte Bedeutung für den Bruttoendenergieverbrauch. Im Jahr 2019 wurden in diesem Bereich in Rheinland-Pfalz 83,5 TWh Energie eingesetzt. Dies entspricht einem Anteil am gesamten Bruttoendenergieverbrauch von 61%. An zweiter Stelle folgt der Verkehrssektor mit einem Energieverbrauch von 34,5 TWh bzw. einem Anteil von 25%. Der Bereich Strom steht an dritter Stelle: In Form von Elektrizität wurden 18,1 TWh bzw. 13% der Bruttoenergie verwendet.¹² Seit 2005 gibt es hinsichtlich dieser Anwendungsbereiche keine nennenswerte strukturelle Veränderung bei der Energienutzung.¹³

Die erneuerbaren Energieträger trugen 2019 etwa 11% zur Deckung des Bruttoendenergieverbrauchs im Bereich Wärme bzw. Kälte bei. Im Jahr 2005 belief sich der Anteil der erneuerbaren Energieträger zur Deckung des Bruttoendenergieverbrauchs im Bereich Wärme bzw. Kälte erst auf 5%. Dies entspricht einer Zunahme von

¹¹ Die Ergebnisse dieser Schätzung unterscheiden sich von den Werten, die in diesem Bericht an anderer Stelle angegeben sind, da letztere sich auf den Endenergieverbrauch entsprechend der Energiebilanz beziehen. Der Unterschied zwischen dem Bruttoendenergieverbrauch nach der EU-Abgrenzung und dem Endenergieverbrauch aus der Energiebilanz belief sich 2019 auf 1,5 TWh. Bei der Interpretation der Werte ist außerdem zu beachten, dass für die Schätzmethode des Länderarbeitskreises Energiebilanzen eine Überarbeitung geplant ist, um sie an neue Entwicklungen in der EU anzupassen.

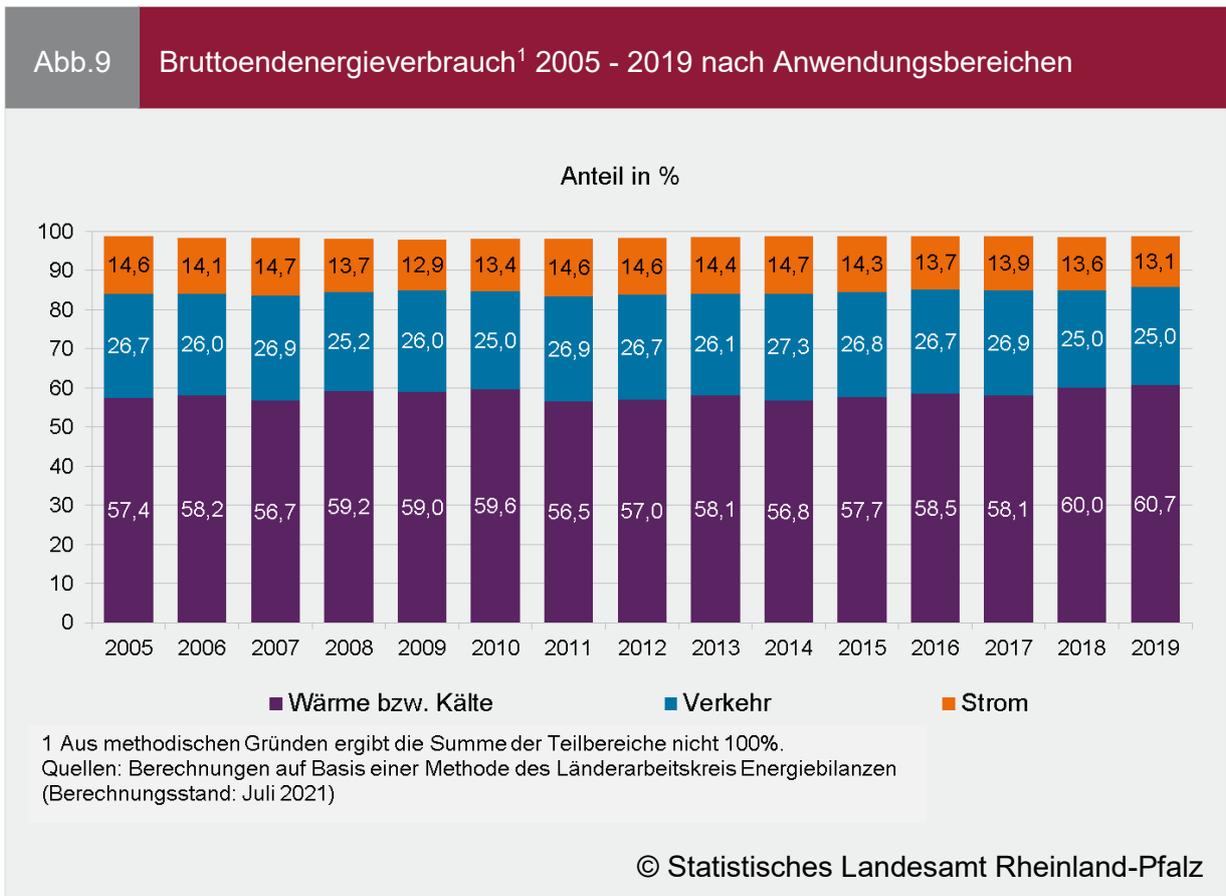
¹² An anderer Stelle in diesem Bericht werden Stromverbrauchswerte von knapp 30 TWh ausgewiesen. Der Grund für die unterschiedliche Größenordnung ist, dass ein Teil der Verbrauchsmenge an Strom in Wärme bzw. Kälte umgewandelt wird.

¹³ Es ist anzumerken, dass die Summe des Bruttoendenergieverbrauchs in den drei Anwendungsbereichen aus methodischen Gründen nicht exakt dem über einen anderen Berechnungsweg ermittelten gesamten Bruttoendenergieverbrauch entspricht; für 2019 ergibt sich eine Differenz von 1,6 TWh.

3,8 TWh auf 9,3 TWh. Die Steigerung fand vor allem in der ersten Hälfte des Betrachtungszeitraums statt. Seit 2011 schwankt der Anteilswert zwischen 10% und 11%.

In Deutschland lag der Anteil der erneuerbaren Energien 2019 im Bereich Wärme bzw. Kälte bei 15% - das sind 3,4 Prozentpunkte mehr als in Rheinland-Pfalz. Der nationale Zielpfad sah einen Anteil von 14% bis 2020 vor. Dieser Wert wurde bereits 2018 überschritten. Trotz des steigenden Anteils der erneuerbaren Energien im Wärmesektor dominieren somit sowohl in Rheinland-Pfalz als auch in Deutschland bislang die fossilen Energieträger (Anteil

2019: 89% bzw. 85%). Werden alle drei Anwendungsbereiche bzw. -sektoren (Wärme bzw. Kälte, Strom und Verkehr) zusammen betrachtet, ergibt sich der Anteil, den die erneuerbaren Energien zur Deckung des gesamten Bruttoendenergieverbrauchs beitragen. Dieser Anteil lag 2019 hierzulande bei 16%; bundesweit wurden 17% erreicht.



5. ENTWICKLUNG DER ENERGIEBEDINGTEN EMISSIONEN VON SO₂ UND NO_x

Hintergrund und Methodik der Emissionsberechnung

Schadstoffemissionen können sich lokal und überregional negativ auf die Luftqualität auswirken. Die Verbreitung von Luftschadstoffen hängt dabei u. a. von meteorologischen und topografischen Gegebenheiten ab. Eine hohe Konzentration von Luftschadstoffen ist für eine Reihe von Umweltproblemen verantwortlich und kann zu Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit führen. In Rheinland-Pfalz betreibt das Landesamt für Umwelt zur Messung der lokalen Konzentrationen im Auftrag des

MKUEM das Zentrale Immissionsmessnetz (ZIMEN).¹

Die Emissionen aus den verschiedenen Verbrennungsvorgängen zur Gewinnung von Energie spielen eine zentrale Rolle für die Luftqualität. Darüber hinaus können Schadstoffemissionen aber auch bei Produktionsprozessen (z. B. in der Chemischen Industrie), in der Landwirtschaft oder der Abfall- und Abwasserbehandlung entstehen. In diesem Bericht werden ausschließlich Luftschadstoffemissionen be-

Schwefeldioxid (SO₂)

„Schwefeldioxid entsteht überwiegend bei Verbrennungsvorgängen fossiler Energieträger wie Kohle und Öl durch Oxidation des im Brennstoff enthaltenen Schwefels. [...] Da die SO₂-Konzentrationen bundesweit sehr deutlich unter den geltenden Grenzwerten zum Schutz der menschlichen Gesundheit liegen, sind heute durch SO₂ verursachte Gesundheitsprobleme in Deutschland nicht mehr zu befürchten. [...] Schwefeldioxid kann Pflanzen schädigen und nach Ablagerung in Ökosysteme Versauerung von Böden und Gewässern bewirken. Durch den starken Rückgang der Schwefelemissionen seit Beginn der 90er Jahre wird die Versauerung heute hauptsächlich von Stickstoffeinträgen verursacht.“

Stickstoffoxide (NO_x)

„Stickstoffoxide gehören zu den so genannten reaktiven Stickstoffverbindungen, die zu einer Vielzahl von negativen Umweltwirkungen führen können. Zusammen mit flüchtigen Kohlenwasserstoffen sind Stickstoffoxide für die sommerliche Ozonbildung verantwortlich. Stickstoffoxide tragen zudem zur Feinstaubbelastung bei. [...] Die Hauptquellen von Stickstoffoxiden sind Verbrennungsmotoren und Feuerungsanlagen für Kohle, Öl, Gas, Holz und Abfälle. In Ballungsgebieten ist der Straßenverkehr die bedeutendste NO_x-Quelle.“

Quelle: Umweltbundesamt, Abruf unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick> [Stand: 11. August 2021].

¹ siehe: <https://luft.rlp.de/de/startseite> [Stand: 11. August 2021].

trachtet, die bei der Verbrennung von Energieträgern für energetische Zwecke entstehen. Außerdem beschränkt sich die Berichterstattung auf die Emissionen von Schwefeldioxid (SO₂) und Stickstoffoxiden (NO_x). In Deutschland sind jeweils rund 80% dieser Emissionen energiebedingt. Daten zu weiteren relevanten Luftschadstoffen in Deutschland, z. B. Feinstaub, veröffentlicht das Umweltbundesamt jährlich im Rahmen internationaler Berichtspflichten.

Bei der Emissionsberechnung handelt es sich um eine Modellrechnung. Derzeit gibt es im Bereich der Luftschadstoffemissionen über allgemeine internationale Richtlinien hinaus keine standardisierten Emissionsberechnungen für die Bundesländer. Die Ermittlung der energiebedingten Emissionen von SO₂ und NO_x erfolgt seit dem 14. Energiebericht durch das Statistische Landesamt Rheinland-Pfalz. Vergleiche mit Daten aus älteren Veröffentlichungen oder anderen Quellen sind nur eingeschränkt möglich.

Für die Berechnung der Emissionen werden energieträgerspezifische Emissionsfaktoren verwendet. Diese Faktoren zeigen

die durchschnittliche Höhe des Schadstoffausstoßes je verbrauchter Einheit Energie. Bei den in diesem Bericht angesetzten Emissionsfaktoren handelt es sich in der Regel um Durchschnittswerte für Deutschland, die das Umweltbundesamt (UBA) im Rahmen seiner EU-Berichtspflichten ermittelt. Die Emissionsfaktoren sind weitgehend im „German Informative Inventory Report“ online veröffentlicht. Für eine vollständige Berechnung der Emissionen für Rheinland-Pfalz, insbesondere für den Zeitvergleich, werden darüber hinaus weitere Publikationen des UBA herangezogen.²

Die Ermittlung der NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs erfolgt auf der Basis von energieträgerspezifischen durchschnittlichen Emissionsfaktoren je gefahrenem Fahrzeugkilometer nach Fahrzeugkategorien. Diese Faktoren stammen aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA).³ Angaben zur Fahrleistung nach Fahrzeugkategorien in Rheinland-Pfalz stehen zum Teil aus den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder zur Verfügung. Darüber hinaus wird neben dem Kraftstoffverbrauch und der Entwicklung des Kfz-Bestands in

² Eine vollständige Quellenübersicht ist im Anhang zu diesem Bericht zu finden.

³ Dieses Handbuch erstellt das Forschungsinstitut INFRAS. Es wurde ursprünglich im Auftrag der Umweltbundesämter von Deutschland, der Schweiz und Österreich erstellt. Inzwischen wird HBEFA von weiteren Ländern (Schweden, Norwegen, Frankreich) wie auch von JRC (Joint Research Center der Europäischen Kommission) unterstützt.

Rheinland-Pfalz die Entwicklung der Fahrleistung auf der Bundesebene berücksichtigt.⁴

Im Vergleich zu früheren rheinland-pfälzischen Energieberichten wurde die Berechnungsmethode für SO₂ und NO_x für den 14. Energiebericht vollständig überarbeitet. Die neue Vorgehensweise ermöglicht wie bisher eine Unterscheidung nach Energieträgern und Emittentensektoren bzw. Verbrauchergruppen. Zudem ist - analog zur Emissionsberechnung des Treibhausgases CO₂ - eine quellenorientierte und eine verursacherorientierte Betrachtung möglich.⁵

Die Quellenbilanz ermöglicht Aussagen über die Gesamtmenge der im Land emittierten energiebedingten Luftschadstoffe auf der Entstehens- bzw. Aufkommenseite. Dabei werden z. B. auch die Emissionen ausgewiesen, die beim Einsatz fossiler Energieträger für die heimische Stromerzeugung entstehen - auch, wenn ein Teil der produzierten Strommenge exportiert wird. Die Emissionen aus der Stromerzeugung außerhalb des Landes bleiben dagegen unberücksichtigt - auch, wenn der Strom wie in Rheinland-Pfalz zu einem gro-

ßen Teil importiert wird. Die Nettostromimporte (Stromausgleichssaldo) deckten 2019 in Rheinland-Pfalz ein Viertel des Stromverbrauchs; im Jahr 2005 lag dieser Anteil noch bei 60%. Die Stromerzeugung in Deutschland ist dagegen sogar so hoch, dass geringe Exportüberschüsse zu verzeichnen sind und die in Deutschland erzeugte Menge ausreicht, um den eigenen Verbrauch zu decken.

Die Quellenbilanzierung ist methodisch vergleichbar mit der Vorgehensweise des UBA, bei der die Emissionen an Luftschadstoffen nach internationalen Methodenkonventionen ermittelt werden, vergleichbar. Aufgrund der strukturellen Unterschiede zwischen Rheinland-Pfalz und Deutschland, insbesondere beim Stromverbrauch, ist es jedoch sinnvoll, für Rheinland-Pfalz auch eine verursacherorientierte Betrachtung vorzunehmen.

Die Verursacherbilanz zeigt die Emissionen aus der Verwendung von Endenergie durch die Verbrauchssektoren. Für Strom erfolgt die Anrechnung der Emissionsmenge auf der Grundlage des durchschnittlichen Brennstoffverbrauchs aller Stromerzeugungsanlagen in Deutschland. Diese

⁴ Hierfür werden Auswertungen des BMVI (Verkehr in Zahlen) und Statistiken des Kraftfahrzeugbundesamts herangezogen.

⁵ Eine detaillierte Erklärung zum Unterschied zwischen Quellen- und Verursacherbilanz veröffentlicht der LAK Energiebilanzen im Internet unter:

<https://www.lak-energiebilanzen.de/methodik-der-co2-bilanzen/>

[Stand: 11. August 2021].

pauschale Herangehensweise ist zwar mit Bewertungsungenauigkeiten verbunden, aber genauere Informationen liegen auf der Ebene der Bundesländer nicht vor.

Analog zur Energiebilanz lassen sich die drei Verbrauchs- bzw. Emittentensektoren Industrie, Verkehr und Haushalte/GHD unterscheiden, wobei der Teilbereich GHD (Gewerbe, Handel und Dienstleistungen) auch alle sonstigen Verbraucher, z. B. die öffentliche Verwaltung umfasst.

Gesamtergebnisse auf der Landes- ebene

SO₂-Emissionen

Die SO₂-Emissionen sind im Vergleich zu anderen Luftschadstoffen nur noch von vergleichsweise geringer Bedeutung. Deutschlandweit gingen die energiebedingten SO₂-Emissionen zwischen 1990 und 2019 um 96% zurück. Der größte Teil der Reduktion erfolgte bereits in den 1990er-Jahren. Dennoch sind die SO₂-Emissionen auch danach weiter gesunken. In Rheinland-Pfalz nahmen die SO₂-Emissionen nach der Quellenbilanz innerhalb des hier betrachteten Zeitraums 2005 bis 2019 um 55% ab. Es wurden 2019 insgesamt 2.486 Tonnen SO₂ emittiert. Die wesentliche Ursache für die Entstehung von SO₂-Emissionen ist in Rheinland-Pfalz die Verbrennung von Mineralölen und Mineralölprodukten. Sie verursachte 2019 rund 38% des gesamten SO₂-Austoßes, gefolgt von der Verbrennung von Biomasse (32%) und

Kohle (27%). Zu Beginn des Betrachtungszeitraums war die Bedeutung der Mineralöle und Mineralölprodukte noch höher als heute. Ihre Verbrennung verursachte 2005 rund zwei Drittel (77%) der in Rheinland-Pfalz emittierten Menge SO₂ (Kohle: 15%, Biomasse: 6,5%).

Betrachtet man nicht nur die Emissionen, die nach der Quellenbilanzierung direkt in Rheinland-Pfalz entstehen, sondern auch die Emissionen, die laut Verursacherbilanz von den rheinland-pfälzischen Endenergieverbrauchern herbeigeführt werden, ist die Nutzung von Strom für den größten Teil der Emissionen verantwortlich. Der Anteil lag - im Betrachtungszeitraum nahezu unverändert - bei 77%. Strom als sekundärer Energieträger lässt sich bei der Emissionsbilanzierung nicht nach den primär eingesetzten Energieträgern differenzieren.

Die ermittelte Gesamtmenge an SO₂-Emissionen ist nach der Verursacherbilanz deutlich höher als nach der Quellenbilanz, weil ein Teil des in Rheinland-Pfalz verbrauchten Stroms nicht im Land selbst produziert wird. Die SO₂-Emissionen laut Verursacherbilanz beliefen sich 2019 auf 8.300 Tonnen (2018: 8.533 Tonnen). Dies waren 63% weniger als 2005.

NO_x-Emissionen

Die NO_x-Emissionen, die nach der Quellenbilanzierung in Rheinland-Pfalz entstehen,

beliefen sich 2019 auf 39.744 Tonnen. Damit sind sie mengenmäßig wesentlich bedeutender als SO₂. Gegenüber 2018 gingen die NO_x-Emissionen um 4,9% zurück. Im Vergleich zu 2005 sanken sie um 40%.

Mit 65% ist laut Quellenbilanzierung auch bei NO_x der größte Teil der gesamten Emissionsmenge auf die Verbrennung von Mineralölen und Mineralölprodukten zurückzuführen. An zweiter und dritter Stelle folgen Erdgas mit 17% und Biomasse mit 14%.

Laut Verursacherbilanz ist neben der Verbrennung von Mineralölen und -produkten auch der Verbrauch von Strom von vergleichsweise hoher Bedeutung für die Entstehung von NO_x. Aus der Verbrennung von Mineralölen und Mineralölprodukten resultierten 54% der Gesamtemissionen nach der Verursacherbilanz 2019. Der Verbrauch von Strom verursachte 25% der NO_x-Emissionen; im Vergleich zu SO₂ (77%) ist der Stromanteil geringer.

Der gesamte NO_x-Ausstoß belief sich laut Verursacherbilanz 2019 auf 47.371 Tonnen (2018: 49.806). Dies entspricht einem Minus von 38% gegenüber 2005.

Ergebnisse nach Emittentensektoren (Verursacherbilanz)

SO₂-Emissionen nach Sektoren

Der Ausstoß von SO₂ resultiert im Wesentlichen aus dem Verbrauch von schwefelhaltigen Brennstoffen in den Sektoren Industrie und Haushalte/GHD. Der Industriesektor kam laut Verursacherbilanz 2019 auf einen Anteil von 50% (2005: 45%), der Sektor Haushalte/GHD auf 47% (2005: 53%). Der Industriesektor verursachte 2019 absolut 4.152 Tonnen SO₂ (2018: 4.229 Tonnen). Dies waren 58% weniger als 2005. Der Sektor Haushalte/GHD kam auf einen SO₂-Ausstoß von 3.915 Tonnen (2018: 4.036 Tonnen). Auch hier ist gegenüber 2005 eine deutliche Reduktion zu verzeichnen (-67%).

Die verkehrsbedingten SO₂-Emissionen beliefen sich nach der Verursacherbilanz 2019 auf 234 Tonnen (2018: 267 Tonnen). Gegenüber 2005 halbierten sie sich, waren aber bereits zu Beginn des Betrachtungszeitraums mit 488 Tonnen auf einem sehr niedrigen Niveau. Der wesentliche Grund hierfür ist, dass seit 2003 nur noch schwefelarme Kraftstoffe im Straßen- und Schienenverkehr zugelassen sind.

Die SO₂-Emissionen aus dem Verkehrssektor hatten 2019 einen Anteil von 2,8% an den gesamten SO₂-Emissionen. Im Jahr 2005 lag der Anteil bei 2,2%.

NO_x-Emissionen nach Sektoren

Der Verkehr verursacht zwar nur noch vergleichsweise wenig SO₂-Emissionen, ist aber für einen Großteil der NO_x-Emissionen verantwortlich. Im Jahr 2019 waren 54% der NO_x-Emissionen verkehrsbedingt (Verursacherbilanz). Gegenüber 2005 nahm die Bedeutung des Verkehrssektors allerdings ab. Der Anteil an den gesamten NO_x-Emissionen lag zu Beginn des Betrachtungszeitraums noch bei 67%.

Die NO_x-Emissionen aus dem Verkehrssektor beliefen sich laut Verursacherbilanz 2019 auf 25.669 Tonnen (2018: 27.845 Tonnen). Die NO_x-Emissionen stammen dabei im Wesentlichen aus dem Straßenverkehr, vor allem von Fahrzeugen mit Dieselmotoren. Seit 2005 halbierten sich die verkehrsbedingten NO_x-Emissionen. Der Rückgang dürfte vor allem auf die geltenden EU-Abgasnormen („Euro-Normen“) zurückzuführen sein. Die Typgenehmigungen wurden im Betrachtungszeitraum an strenger werdende Grenzwerte u. a. für NO_x gebunden. Diese wurden zwar im Realbetrieb nicht vollständig erreicht, führten aber trotzdem zu einer Verringerung der Emissionen.

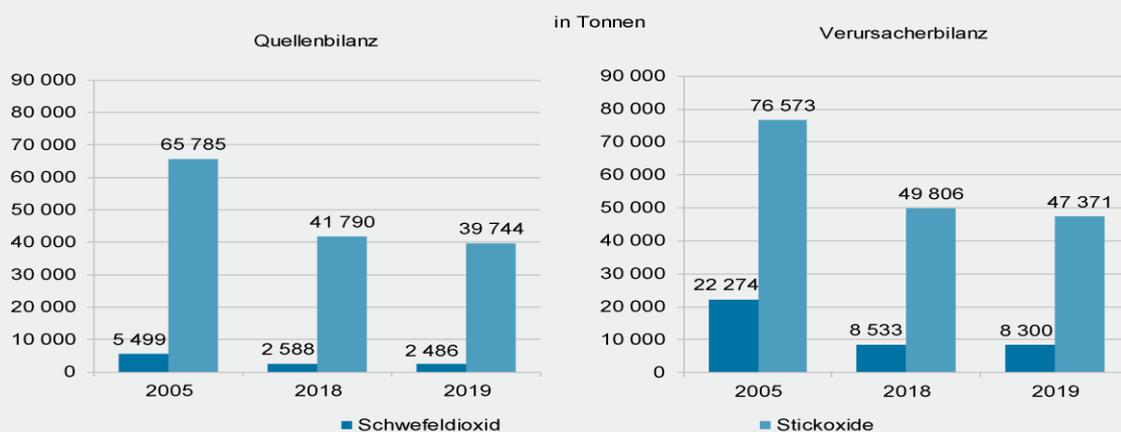
Der Industriesektor war 2019 für 11.573 Tonnen NO_x verantwortlich (2018: 11.844 Tonnen). Dies waren 24% der gesamten rheinland-pfälzischen NO_x-Emissionen (Verursacherbilanz). Die teilweise sehr energieintensive Industrie in Rheinland-

Pfalz erreichte im Betrachtungszeitraum eine Emissionsreduktion um 4,6%.

Auch im Sektor Haushalte/GHD fielen die Emissionsminderungen weniger kräftig aus als im Verkehr, aber der Sektor Haushalte/GHD verzeichnete im Gegensatz zur Industrie ein deutliches zweistelliges Minus. Es belief sich im Betrachtungszeitraum nach der Verursacherbilanzierung auf –22%. Dies dürfte im Wesentlichen auf die Veränderungen im deutschen Strommix zurückzuführen sein, dessen Zusammensetzung insbesondere durch die zunehmende Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, aber auch durch den deutschlandweit sinkenden Einsatz von Kohle heute mit deutlich weniger NO_x-Emissionen verbunden ist als noch vor 15 Jahren. Außerdem entstehen im Sektor Haushalte/GHD auch weniger NO_x-Emissionen beim Energieverbrauch für die Erzeugung von Wärme mit Heizöl und Erdgas. Hierfür dürften Neuerungen bzw. Verbesserungen bei Heizungsanlagen ursächlich sein. In Deutschland gibt es sowohl für kleine Feuerungsanlagen im häuslichen Bereich als auch für Großfeuerungsanlagen technische Vorgaben bzw. Grenzwerte, die nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz bzw. den Bundesimmissionsschutzverordnungen einzuhalten sind. Der Sektor Haushalte/GHD verursachte 2019 einen Ausstoß von 10.128 Tonnen NO_x (2018: 10.117 Tonnen). An den gesamten NO_x-

Emissionen hatte der Sektor damit einen Anteil von 21%.

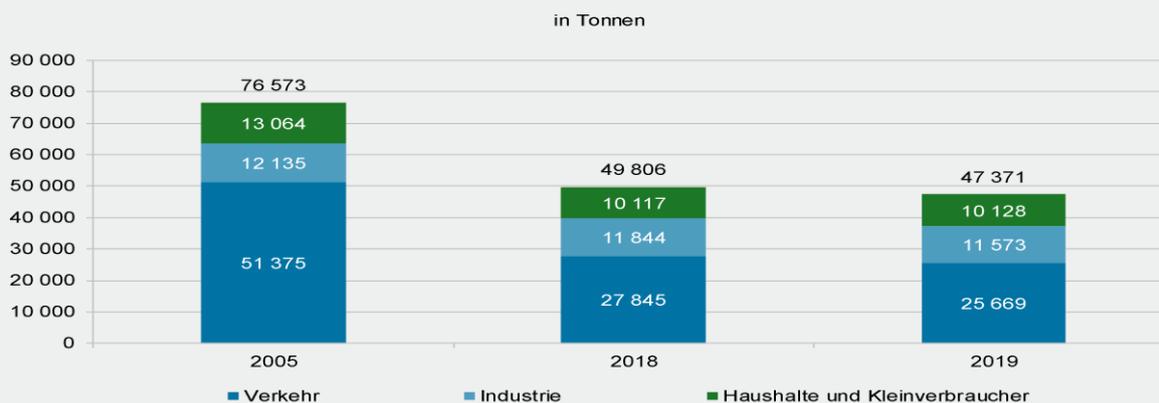
Abb. 10 Emissionen von SO₂ und NO_x 2005, 2018 und 2019



Berechnungsstand: Juli 2021.

© Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Abb. 11 Stickoxidemissionen (Verursacherbilanz) 2005, 2018 und 2019 nach Sektoren



Berechnungsstand: Juli 2021.

© Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz



RheinlandPfalz

MINISTERIUM FÜR
KLIMASCHUTZ, UMWELT,
ENERGIE UND MOBILITÄT

Kaiser-Friedrich-Str. 1
55116 Mainz

poststelle@mkuem.rlp.de
www.mkuem.rlp.de

14. ENERGIEBERICHT RHEINLAND-PFALZ

A N H A N G

zum

Bericht

Übersicht der Kapitel des Hauptberichtes mit Anhängen oder ergänzenden Informationen:

3.1 Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und regenerative Eigenstromversorgung	5
Anhang 1: Windenergieanlagen im Wald	5
Anhang 2: Energieholzverkauf Landesforsten Rheinland-Pfalz	5
3.6 Energieforschung und Wissenstransfer (Schule, Forschung, Wissenschaft)	6
3.7 Das Land als Vorbild	94
Anhang 3: Biomasseanlagen in LBB-Liegenschaften	94
Anhang 4: Solarthermieanlagen in LBB-Liegenschaften (inkl. Hochschulen)	95
Anhang 5: Fotovoltaikanlagen (LBB-Liegenschaften ohne Hochschulen)	96
Anhang 6: Stromertrag der Fotovoltaikanlagen (LBB-Liegenschaften ohne Hochschulen)	97
Anhang 7: Fotovoltaikanlagen (LBB-Liegenschaften; Hochschulen)	97
Anhang 8: Stromertrag der Fotovoltaikanlagen (LBB-Liegenschaften; Hochschulen)	97
Anhang 9: Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) in LBB-Liegenschaften (inkl. Hochschulen)	98
Anhang 10: Strom- und Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) in LBB-Liegenschaften (inkl. Hochschulen)	99
Anhang 11: Geothermieanlagen in LBB-Liegenschaften inkl. Hochschulen	99
4. Entwicklung von Energieerzeugung und –verbrauch in Rheinland-Pfalz	100
Anhang 12: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2018 in spezifischen Mengeneinheiten	104
Anhang 13: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2018 in Terajoule	106
Anhang 14: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2018 in Kilowattstunden	108
Anhang 15: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2019 in spezifischen Mengeneinheiten	110
Anhang 16: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2019 in Terajoule	112
Anhang 17: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2019 in Kilowattstunden	114
Anhang 18: Zeichenerklärung zur Darstellung der Energiebilanz	116
Anhang 19: Satellitenbilanz „Erneuerbare Energieträger“ 2018	117

Anhang 20: Satellitenbilanz „Erneuerbare Energieträger“ 2019.....	118
Anhang 21: Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeeinheiten zur Energiebilanz 2018.....	119
Anhang 22: Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeeinheiten zur Energiebilanz 2019.....	120
Anhang 23: Energieflussbild Rheinland-Pfalz 2019.....	121
4.1. Rahmenbedingungen und Bestimmungsfaktoren der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs.....	122
Anhang 24: Ausgewählte Kennzahlen und Indikatoren zum Energieverbrauch 1990 – 2019.....	122
Anhang 25: Ausgewählte Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs 1990 – 2019.....	123
Anhang 26: Bruttowertschöpfung 2000–2020 nach Wirtschaftsbereichen.....	124
4.2. Entwicklung der Energiepreise.....	125
Anhang 27: Index der Erzeugerpreise für gewerbliche Produkte, Energie und ausgewählte Energieträger in Deutschland.....	125
Anhang 28: Index der Verbraucherpreise und für ausgewählte Energieträger in Rheinland-Pfalz.....	126
Anhang 29: Index der Verbraucherpreise für Kraftstoffe in Rheinland-Pfalz 1995 – 2020.....	127
4.3. Entwicklung des Primärenergieverbrauchs.....	128
Anhang 30: Primärenergieverbrauch 1990-2019 nach Energieträgern.....	128
Anhang 31: Struktur des Energieverbrauchs 1990 – 2019.....	129
4.4. Entwicklung des Endenergieverbrauchs.....	130
Anhang 32: Endenergieverbrauch 1990 – 2019 nach Verbrauchergruppen.....	130
Anhang 33: Endenergieverbrauch 1990 – 2019 nach Energieträgern.....	131
4.5. Entwicklung des Energieverbrauchs im Bereich der Mobilität.....	132
Anhang 34: Endenergieverbrauch 1990 – 2019 im Verkehrssektor.....	132
Anhang 35: Endenergieverbrauch 1990 – 2019 nach Verbrauchergruppen und Energieträgern.....	133

4.6. Entwicklung der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs	134
Anhang 36: Strombilanz 1990 – 2019.....	134
4.7. Entwicklung der Wärmeerzeugung und des Wärmeverbrauchs	135
Anhang 37: Bruttoendenergieverbrauch nach Verbrauchssektoren.....	135
5. Entwicklung der energiebedingten Emissionen von SO₂ und NO_x	136
Anhang 38: SO ₂ -Emissionen (Quellenbilanz) 2005 – 2019	
nach Energieträgern.....	137
Anhang 39: SO ₂ -Emissionen (Quellenbilanz) 2005–2019	
nach Verbrauchergruppen.....	138
Anhang 40: SO ₂ -Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 – 2019	
nach Energieträgern.....	139
Anhang 41: SO ₂ -Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 – 2019	
nach Verbrauchergruppen.....	140
Anhang 42: NO _x -Emissionen (Quellenbilanz) 2005 – 2019	
nach Energieträgern.....	141
Anhang 43: NO _x -Emissionen (Quellenbilanz) 2005 – 2019	
nach Verbrauchergruppen.....	142
Anhang 44: NO _x -Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 – 2019	
nach Energieträgern.....	143
Anhang 45: NO _x -Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 – 2019	
nach Verbrauchergruppen.....	144

3.1 Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und regenerative Eigenstromversorgung

Anhang 1: Windenergieanlagen im Wald¹

Windenergieanlagen im Wald	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Anlagenanzahl	162	212	257	309	352	397	422	440	452	466
davon:										
Kommunalwald	145	188	229	271	301	340	363	371	380	.
Privatwald	6	11	13	17	26	31	32	35	36	.
Staatswald	11	13	15	21	25	26	27	34	36	.

Anhang 2: Energieholzverkauf Landesforsten Rheinland-Pfalz im Jahr 2020 in Festmetern

Verkauf durch Landesforsten	Staatswald	130.000
	Kommunalwald (nur an Endkunden)	220.000
	Privatwald	5.000
geschätzter zusätzlicher Anfall (auch Eigenbedarf)	Kommunalwald (an gewerbliche Kunden)	75.000
	Privatwald	200.000
Summe		630.000
Kunden (nur für den Staatswald)	gewerblich	49 %
	nicht gewerblich	51 %
Nutzungsform	Hackschnitzel	4 %
	Waldholz	96 %
Anteile der Baumarten (bezogen auf das von Landesforsten verkaufte Holz)	Buche	60 %
	Eiche	14 %
	Nadelholz (z.B. Kiefer)	16 %
	Sonstige	10 %

¹ Meldungen der Forstämter; Fachagentur Windenergie an Land Entwicklung der Windenergie im Wald Ausbau, planerische Vorgaben und Empfehlungen für Windenergiestandorte auf Waldflächen in den Bundesländern; 6. Auflage, 2021

3.6 Energieforschung und Wissenstransfer (Schule, Forschung, Wissenschaft)

Einzelprojekte der Hochschulen und der Forschungseinrichtungen

Studiengänge mit Schwerpunkt „Energie“:

An den sieben Hochschulen und vier Universitäten des Landes werden künftige Fachkräfte für das Thema Energie ausgebildet. Insgesamt werden im Berichtszeitraum 29 Studiengänge angeboten, davon 15 grundständige Studiengänge mit dem Abschluss Bachelor und 14 weiterführende Studiengänge mit dem Abschluss Master.

Studienfach	Abschluss	Hochschulname	Studienort	Studientyp
Elektrotechnik	Bachelor of Engineering	Technische Hochschule Bingen	Bingen	grundständig
Energie- Betriebsmanagement	Master of Engineering	Technische Hochschule Bingen	Bingen	weiterführend
Energie-, Gebäude- und Umweltmanagement	Master of Science	Technische Hochschule Bingen	Bingen	weiterführend
Energie- und Verfahrenstechnik	Bachelor of Science	Technische Hochschule Bingen	Bingen	grundständig
Regenerative Energiewirtschaft und Versorgungstechnik	Bachelor of Science	Technische Hochschule Bingen	Bingen	grundständig
Architektur	Master of Arts	Hochschule Kaiserslautern	Kaiserslautern	weiterführend
Betriebswirtschaft	Bachelor of Arts	Hochschule Kaiserslautern	Zweibrücken	grundständig
Elektrotechnik	Bachelor of Engineering	Hochschule Kaiserslautern	Kaiserslautern	grundständig
Elektrotechnik	Master of Engineering	Hochschule Kaiserslautern	Kaiserslautern	weiterführend
Elektrotechnik und Informationstechnik	Master of Engineering	Hochschule Kaiserslautern	Kaiserslautern	weiterführend
Energie-Ingenieurwesen	Bachelor of Engineering	Hochschule Kaiserslautern	Kaiserslautern	grundständig
Prozessingenieurwesen	Bachelor of Engineering	Hochschule Kaiserslautern	Kaiserslautern	grundständig
Wirtschaftsingenieurwesen	Bachelor of Engineering	Hochschule Kaiserslautern	Kaiserslautern	grundständig
Elektrotechnik	Master	Hochschule Koblenz	Koblenz	weiterführend

Studienfach	Abschluss	Hochschulname	Studienort	Studientyp
Energie- Betriebsmanagement	Bachelor	Hochschule Koblenz	Koblenz	grundständig
Maschinenbau	Master	Hochschule Koblenz	Koblenz	weiterführend
Elektrotechnik	Bachelor	Hochschule Koblenz	Koblenz	grundständig
Energiemanagement	Master	Hochschule Trier	Trier	weiterführend
Energietechnik - Regenerative und Effiziente Energiesysteme	Bachelor	Hochschule Trier	Trier	grundständig
Elektromobilität	Bachelor	Hochschule Trier	Trier	grundständig
Elektrotechnik	Bachelor	Hochschule Trier	Trier	grundständig
Erneuerbare Energien	Bachelor of Science	Hochschule Trier	Birkenfeld	grundständig
Umweltorientierte Energietechnik	Master	Hochschule Trier	Birkenfeld	weiterführend
Unternehmensrecht und Energierecht	Master of Laws (LL. M.)	Hochschule Trier	Birkenfeld	weiterführend
International Material Flow Management	Master	Hochschule Trier	Birkenfeld	weiterführend
Energie- und Verfahrenstechnik	Bachelor	TU Kaiserslautern	Kaiserslautern	grundständig
Energie- und Verfahrenstechnik	Master	TU Kaiserslautern	Kaiserslautern	weiterführend
Wirtschaftschemie	Master	TU Kaiserslautern	Kaiserslautern	weiterführend
Energiemanagement	Master	Universität Koblenz-Landau	Koblenz	weiterführend

Quelle: <https://www.studieren-in-rlp.de/hochschulen/studienangebote-a-z/>

JOHANNES GUTENBERG – UNIVERSITÄT MAINZ

Maßnahmen aus den Bereichen Forschung und Technologietransfer

Forschungsschwerpunkte/-projekte:

BIODUROZELL (Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Besonders nachhaltig wird die Elektrosynthese, wenn sie zur Umwandlung nachwachsender Rohstoffe eingesetzt werden kann. Im BMBF-geförderten Projekt „BioDuroZell“ untersucht die Gruppe Waldvogel zusammen mit der TH Bingen und weiteren Partnern die elektrochemische Modifikation von Tallöl, einem Abfallprodukt aus der Papierindustrie. Gelingt die Um-

setzung, sind diese Stoffe als Bestandteile nachhaltiger Kunststoffe verwendbar. Ein Nichtverbrennen dieser Nebenströme verhindert CO₂-Emissionen und schont fossile Kohlestoffquellen.

Laufzeit: 2015-2018; Fördersumme: 300.000€; Fördermittelgeber: BMBF

Terphenyle (DFG – D-A-CH)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

In einer Kooperation mit der TU Graz untersucht Prof. Waldvogel die Herstellung von sogenannten Terphenyl-Verbindungen durch Elektrosynthese. Diese Substanzen werden in der Wirkstoff-Forschung untersucht und können bislang nur auf konventionellem Weg hergestellt werden. Über den elektrochemischen Ansatz ist die Herstellung schneller, günstiger und ressourcenschonender. Die DFG fördert dieses Kooperationsprojekt.

Laufzeit: 2015-2018; Fördersumme: 215.000€

MANGAN (BMBF)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Die elektrochemische Zerlegung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff ist schon lange bekannt und stellt den zentralen Aspekt der Wasserstoffwirtschaft dar. Trotzdem stellt der neue Ansatz, Wasserstoff als Speicherform für (elektrische) Energie zu nutzen, ganz neue Herausforderungen an diese Umsetzung. Die Bildung des Wasserstoffs ist gut verstanden und hoch effizient, wohingegen die Bildung von Sauerstoffgas die doppelte bis vierfache elektrische Leistung erfordert. Könnte man bisher schlechte Wirkungsgrade bei der Umsetzung verkraften, werden nun hocheffiziente Methoden gesucht, die Sauerstoffentwicklung auf der Anode zu bewältigen. Im Mittelpunkt der Forschung, welche die Gruppe Waldvogel unter anderem mit dem Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion in Mülheim durchführt, stehen Mangan-Nanopartikel, welche zur Anpassung von Elektrodenoberflächen genutzt werden sollen.

Laufzeit: 2015-2019; Fördersumme: 280.000€; Fördermittelgeber: BMBF

EPSYLON (BMBF)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Die elektrochemische Herstellung von sogenannten Biphenolen gehört zu den Spezialgebieten der Gruppe von Prof. Waldvogel. Diese Stoffe haben verschiedene Anwendungen in der Industrie und die elektrochemische Synthese stellt konventionelle Ansätze in mehreren Bereichen in den Schatten. In einem vom BMBF geförderten Kooperationsprojekt zusammen mit Evonik und anderen Partnern wird der Sprung vom Laboransatz in die größere technische Anlage untersucht. Dabei werden klassische Reagenzien durch regenerativen Stromeinsatz ersetzt.

Laufzeit: 2016-2019; Fördersumme: 490.000€

ELYSION (CARL-ZEISS-STIFTUNG)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Unter der Federführung von Prof. Waldvogel beschäftigen sich gleich mehrere Forscher der Mainzer Chemie mit der Nutzung von elektrischem Strom in verschiedenen Reaktionstypen. Bei diesen Versuchen ist es wichtig, schnell möglichst viele verschiedene Reaktionsbedingungen zu testen. Mit dem von der ZEISS-Stiftung geförderten ElySION-Projekt ist dies nun möglich.

Laufzeit: 2016-2020; Fördersumme: 850.000€

FOREST (BMEL)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Die effektive Energiespeicherung ist ein Schlüssel für die Realisierung der Energiewende hin zu regenerativen Energien. Dafür eignet sich die direkte Speicherung von elektrischer Energie in Redox-Flow-Batterien. Hierfür werden allerdings sehr große Mengen an Elektrolyt benötigt, die eine Nutzung von nachhaltigen, regenerierbaren und dabei wirtschaftlichen Lösungen nahezu unverzichtbar erscheinen lassen. Derzeit verwendete Metallionen-basierte

metallische Elektrolyte haben Schwierigkeiten, solche Anforderungen zu erfüllen. Organische Elektrolyte können hingegen ein attraktiver Weg sein, um nachhaltige Redox-Flow-Batterien zu konstruieren. Im Verbundprojekt FOREST sollen organische Elektrolyte in einem innovativen Konversionsverfahren aus dem nachwachsenden Rohstoff Lignin hergestellt werden. Weiterhin sollen im Rahmen des Projekts die Komponenten und der Zellaufbau der Redox-Flow-Batterie für Lignin-basierte Elektrolyte optimiert werden.

Laufzeit: 2017-2019; Fördersumme: 226.000€

HIKE (BMBF)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Die stoffliche Nutzung von bislang wenig verwendeten Restströmen zur chemischen Synthese von Vorstufen für Polymeranwendungen oder dem Aufbau komplexer Verbindungen bietet ein großes Potenzial für eine nachhaltige Wirtschaft. Die Schlüsselschritte in der Konversion der biogenen Ströme sollen entweder via Biotechnologie oder Elektrosynthese realisiert werden und somit äußerst nachhaltig sein. Hierdurch wird eine nachhaltige Alternative zu begrenzt vorhandenen fossilen Synthesebausteinen für die chemische Industrie geschaffen. Durch den Innovationsraums HIKE soll der oben geschilderte ganzheitliche Ansatz entlang der Wertschöpfungskette zu einem noch systematischeren Konzept für die Routine-Anwendung weiterentwickelt werden. Dies soll es interessierten Unternehmen erlauben, gewünschte Synthesebausteine, bzw. bio-basierte Rezepturbestandteile und Werkstoffe für die Anwendung jedweder Wertschöpfungsebene zu benennen.

Laufzeit: 2017-2018; Fördersumme: 37.000€

IntELeK-to (BMEL)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Der Bedarf an nachwachsenden Rostoffen in der chemischen Industrie steigt stetig an. Daher arbeiten im Verbundprojekt IntELeK-to Prof. Waldvogel zusammen mit dem Fraunhofer ICT und der HiTec Zang GmbH an der Entwicklung eines hochintegrierten, elektrochemischen,

kontinuierlichen Prozesses und Reaktorsystems zur Konversion von Ligninen in Plattformchemikalien (aromatische Aldehyde und Ketone) und neue Oligomere. Die so gebildeten Verbindungen sollen in einem zweiten Schritt zu „Drop-In“-Chemikalien und Intermediaten für stoffliche Anwendungen/ Polymeranwendungen umgesetzt werden. Diese sind insbesondere deswegen interessant, da sie zu bereits am Markt erhältlichen und zu nachgefragten Produkten verarbeitet werden können.

Laufzeit: 2018-2019; Fördersumme: 256.000€

AnticancerBET (EU; Förderkennzeichen: 01DJ18003)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Das Projekt AnticancerBET beschäftigt sich ausgehend von dem natürlich vorkommenden Stoff Betulin (weiße Substanz der Birkenrinde) mit der Elektrosynthese von Betulinsäure, Betulinaldehyd und seinen Derivaten für die Synthese von Krebstherapeutika. Der Einsatz von elektrischem Strom als Alternative zu herkömmlich eingesetzten Reagenzien ist unter dem Gesichtspunkt der Ressourcen- und Energieeinsparung und der Nachhaltigkeit von besonderem Interesse. Insbesondere die Vermeidung hoch toxischer Oxidationsmittel ist im Zusammenhang mit der Synthese von Pharmaka zwingend erforderlich.

Laufzeit: 2018-2021; Fördersumme: 140.000€

APPLE (BMBF)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Lignin und der Terpentinschnitt sind signifikante Restströme der Zellstoffgewinnung, die bisher meist nur thermisch genutzt werden. Es besteht allerdings ein hohes Potential zur stofflichen Nutzung. Dabei ist die elektrochemische Umsetzung besonders nachhaltig, da keine Reagenzabfälle generiert werden und auch Elektrizitätsüberschüsse zum Einsatz kommen können. Im Projekt APPLE wird die Nutzung dieser Restströme zur elektrosynthetischen Herstellung von alkylierten Adipinsäuren untersucht. Mithilfe der Alkyladipinsäuren sollen neue Polyamide mit innovativen Eigenschaften, z.B. amorphe Polymere, erschlossen wer-

den. Zusätzlich ist die Entwicklung neuer elektrochemischer Flusszellen, welche die gewünschte Umsetzung ermöglichen und im Laborbereich für Kilogrammengen skalierbar sind, ein wichtiger Teil des Projektes. Ein Nichtverbrennen dieser Nebenströme verhindert CO₂-Emissionen und schont fossile Kohlestoffquellen.

Laufzeit: 2018-2022; Fördersumme: 348.000€

LIBERATE (EU; Förderkennzeichen: 820735)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Das von der Europäischen Union geförderte Projekt LIBERATE nutzt Lignin als Nebenstrom der Papier- und Zellstoffindustrie, um Grund- und Feinchemikalien zu produzieren. Diese werden mit innovativen Techniken nun aus nachwachsenden Rohstoffen statt aus Petrochemikalien gewonnen, es werden „grüne“ Ausgangsstoffe für Nahrungsmittelindustrie, Kunststoffindustrie und viele weitere Industriesparten geschaffen. Neben diesem Ziel der Senkung des CO₂-Ausstoßes und Ressourcen- und Energieverbrauchs wird die nachhaltige Chemiewirtschaft Europas gefördert, kleine und mittelständige Unternehmen in Zukunftstechnologien eingebunden, Schlüsseltechnologien erforscht und gezielt bestimmte Regionen Europas in ihrer strukturellen und sozioökonomischen Entwicklung unterstützt.

Laufzeit: 2018-2022; Fördersumme: 917.000€

SElectiveLi (EU; Förderkennzeichen 837276)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Als „Schwesterprojekt“ von LIBERATE ist SElectiveLi ebenfalls ein von der Europäischen Union gefördertes Projekt. Es wird ein spezifischer Typ des Nebenstromes Lignin der Papier- und Zellstoffindustrie genutzt, um Grund- und Feinchemikalien zu produzieren. Diese werden mit innovativen Techniken nun aus nachwachsenden Rohstoffen statt aus Petrochemikalien gewonnen, es werden „grüne“ Ausgangsstoffe für Nahrungsmittelindustrie, Kunststoffindustrie und viele weitere Industriesparten geschaffen. Besonderes Augenmerk bei diesem Projekt liegt in der Betrachtung des gesamten Prozesses der Wertschöpfung (Life Cycle Asses-

ment) unter dem Aspekt der Einsparung von Energie, Schonung von Ressourcen und Vermeidung von Abfällen. Auch wird untersucht, wie der Energiebedarf der chemischen Reaktionen optimal in die Stromnetzspitzen sonnenenergiereicher europäischer Länder integriert werden kann, um diese Energiespitzen nutzen zu können und die Konkurrenz zum allgemeinen Strombedarf zu entschärfen. Ein Nichtverbrennen dieses Nebenstroms verhindert CO₂-Emissionen und schont fossile Kohlestoffquellen.

Laufzeit: 2019-2022; Fördersumme: 786.000€

UNODE (DFG-FOR 2982)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Eine auf Wasserstoff basierende Energiezukunft ist unausweichlich und die Erzeugung dieses Energieäquivalents wird definitiv durch Elektrolyse erfolgen. Die Sauerstoffentwicklung im Zuge der Wasserelektrolyse stellt nach wie vor eine Herausforderung dar, die aufgrund der hohen Überspannungen eine erhebliche Menge an elektrischer Energie verbraucht. Alternative anodische Umwandlungen, die kein Sauerstoffgas freisetzen, sondern als nützliche und signifikante anodische Umwandlungen dienen, stellen eine innovative Lösung dar. Hierfür werden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt: Einerseits die Entwicklung und Etablierung elektrochemischer Oxidationen mit hoher Wirkung und technischer Relevanz und andererseits die Erzeugung anodisch oxidierbare Äquivalente, die später für eine Vielzahl von chemischen Anwendungen genutzt werden können. Diese Strategie vermeidet die Selektivitätsprobleme von eher komplexen Molekülen an der Anode. Darüber hinaus wird ein allgemeiner Weg etabliert, der Mehrzweckanwendungen eröffnet und Schwankungen im Stromverbrauch kompensiert, da diese Oxidationsmittel gespeichert werden können. Diese Forschergruppe schlägt die Brücke von physikalisch-chemischen Studien zur Elektrokatalyse und zur Vorstufen-Elektrolyse bis hin zum Scale-up.

Laufzeit: 2019-2022; Fördersumme: 316.000€

SusInnoScience (Forschungsinitiative RLP)

S. R. Waldvogel/Arbeitsgruppe Waldvogel, Department Chemie, Fachbereich 09

Die Etablierung nachhaltiger Innovationen und Beiträge zu einer Kreislaufwirtschaft stellen die wichtigsten Herausforderungen für eine zukünftige innovationsgetriebene Industriegesellschaft dar. Darüber hinaus stellt die Vermeidung fossiler Kohlenstoff-Rohstoffe derzeit das drängendste Problem innerhalb des Anthropozäns dar. Nachhaltige chemische Lösungen eröffnen hier eine ganze Reihe attraktiver Optionen für Herausforderungen in der Rohstoffversorgung, der Energieumwandlung, in chemischen Prozessen und in der Materialwissenschaft. Das primäre Ziel dieser Forschungsinitiative ist die Verwendung von Abfallströmen und nachwachsenden Rohstoffen, unkritischen Elementen und die effiziente Nutzung erneuerbarer Energien für die Aktivierung sowie Konversion. Fossile und begrenzte Ressourcen werden systematisch vermieden. Nachhaltige, grüne und möglichst abfallfreie Prozesse, eine Kreislaufwirtschaft sowie innovative disruptive wissenschaftliche und technologische Fortschritte werden angestrebt. SusInnoScience gehört zu den Profildbereichen und wird von der Forschungsinitiative des Landes Rheinland-Pfalz gefördert.

Laufzeit: 2019-2023; Fördersumme: 1.575.000€

PERMEA 1/2

Arbeitskreis Prof. Dr. Boris Kaus, Institut für Geowissenschaften, Fachbereich 09

Die Nutzung unterirdischer Geosysteme im Zuge der Gewinnung von Energie und Energieträgern (z.B. Tiefe Geothermie, Kohlenwasserstoffe) oder die Speicherung von Ressourcen im Untergrund hängt primär von den Durchlässigkeiten der vorherrschenden Gesteine ab. In Festgesteinen mit geringer Porosität wird die Durchlässigkeit vor allem durch offene Brüche im Gestein bestimmt. Deshalb sind Störungszonen aufgrund ihrer hohen Bruchdichten ein häufiges Ziel in der Exploration von Geo-Ressourcen. Die Ziele beider vom BMBF geförderten Verbund-Projekte PERMEA 1/2 (RWTH, FAU, igem, MaP & JGU) sind (1) ein verbessertes Systemverständnis der Bildung und Entwicklung von Brüchen zu erhalten, (2) diese skalenübergreifend (von der Poren- bis Reservoir-Skala) an einem Realbeispiel zu analysieren/quantifizieren und (3) neue numerische Methoden zur Hochskalierung der Reservoir-Durchlässigkeiten zu entwickeln und mit Hilfe von analogen Experimenten zu validieren.

Laufzeit: 2017-2020 (1), 2020-2022; Fördersumme: 217.000€ (1), 198.000€ (2)

HyINTEGER (BMW)

Arbeitskreis Prof. Kersten, Institut für Geowissenschaften, Fachbereich 09

Dieses Projekt beschäftigte sich mit den Untersuchungen zur Integrität von Bohrungen und technischen Materialien unter stark korrosiven Bedingungen und geologischen Wasserstoff-Untergrundreservoirien. Das Verbundvorhaben vereinte nach Stand von Wissenschaft und Technik aktuelle und neue methodische Ansätze aus dem Bereich der Material-, Ingenieur- und Geowissenschaften mit dem Ziel, die auftretenden komplexen Wechselwirkungen bei der unterirdischen Speicherung von Wasserstoff bzw. wasserstoffhaltigem Erdgas zu untersuchen. Der Focus lag dabei auf den Wechselwirkungen zwischen Bohrungs-installationen, Reservoirgesteinen, hochsalinaren Reservoirfluiden und Biozönosen unter den entsprechenden Druck- und Temperaturbedingungen von Untergrundreservoirien im Bereich bis 25 MPa und 120°C. Der Verbund arbeitete mit zwei Schwerpunkten: a) analytische Methoden der beteiligten Materialien und Autoklaven-Laborexperimente, sowie b) numerische Modellierungen und Simulationen von der Porenskala bis zum Reservoir. Gesamtziel aller Arbeitsschwerpunkte war die Quantifizierung der Prozesse, die das Migrationsverhalten von Wasserstoff infolge Korrosion des Reservoirgesteins in Wechselwirkung mit technischen Systemkomponenten (z.B. Stahl- und Stahllegierungen, Zementen und polymeren Bohrlochdichtungsmaterialien) beeinflussen. Die Ergebnisse aus dem Verbundprojekt können auch in anderen Forschungs- und Anwendungsbereichen verwandt werden, in dem Untergrundspeicher eine große Rolle spielen, u.a. CCU (Carbon Capture Usage), EGS (Enhanced Geothermal Systems) und auch im Bereich Enhanced Gas/Oil Recovery (EGR/EOR). Wesentliche Ergebnisse in Form kompletter Datensätze, Animationen und zugehörigen Publikationen wurden auf der öffentlichen Plattform <https://www.digitalrockportal.org/> hinterlegt.

Laufzeit: 2016-2019; Fördersumme (Teilprojekt der JGU): 208.000€

ResKin (BMBF)

Arbeitskreis Prof. Kersten, Institut für Geowissenschaften, Fachbereich 09

Die Kinetik von Fluid-Gesteins-Reaktionen bei der Untergrundspeicherung von z.B. Wasserstoff ist durch die Variabilität der Oberflächenreaktivität der unterschiedlichen Gesteinskörper kontrolliert. Ausgangspunkt für das Verbundprojekt ResKin war die fehlende Implementie-

Die Simulation der variablen Oberflächenreaktivität von Festkörpern in die Simulationscodes des Reaktiven Transports von Fluid-Gestein-Interaktionen. Insbesondere für die Simulation transportkontrollierter Systeme entstehen dadurch Probleme, die einen erheblichen Einfluss auf die Porositäts- und Permeabilitätsentwicklung haben können. In ResKin wurde die Implementierung der Oberflächenreaktivität in den Simulationscode PoreChem (gekoppelt an den Transportcode GeoDict) umgesetzt. Exemplarisch wurde die Auflösung von Calcit in Oberrotliegendesandsteinen untersucht. Ergebnisse der experimentellen Arbeiten zeigten, dass bei den Auflösungsreaktionen der Prozess der Kolloid-Mobilisierung eine wichtige Rolle bei der Veränderung der Permeabilität des Reservoirgesteins spielen kann. Der Prozess der Porenhalblockierung („clogging“) kann durch lösungsinduzierte Partikelmobilisierung und -verlagerung insbesondere von Tonmineralen verursacht werden. Wesentliche Simulationsergebnisse in Form kompletter Datensätze, Animationen und zugehörigen Publikationen wurden auf der öffentlichen Plattform <https://www.digitalrockportal.org/> hinterlegt.

Laufzeit: 2017-2022; Fördersumme (Teilprojekt der JGU): 400.000€

ReSalt (BMW)

Arbeitskreis Prof. Kersten, Institut für Geowissenschaften, Fachbereich 09

Die bei der tiefen geothermischen Energiegewinnung geförderten Thermalsolen werden nach der Energieausbeute unter neuen Druck- und Temperaturbedingungen in das Reservoir reinjiziert. Die Kreislaufführung des Thermalfluids im Reservoir ist unabdingbar, um einen nachhaltigen, langjährigen Betrieb bei wirtschaftlich vernünftigen Druckverhältnissen sicher zu stellen. Im Zuge dieser Reinjektion kann es zur Ausfällung von Mineralen im Kluft-, Poren- und Rissnetzwerk des geothermischen Reservoirs (Reservoirscaling) kommen. Ausgehend vom Reservoirscaling verändern sich die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften des Gebirges, so dass die Gebirgsdurchlässigkeit zum Teil erheblich reduziert werden kann. Als Folge dieser reduzierten Durchlässigkeit kann Seismizität induziert werden. Hierbei handelt es sich um eine ungewollte hydraulische Stimulation ausgelöst durch die aus Produktionsgründen konstant gehaltenen Parameter Reinjektionsrate und Verpressdruck am Bohrungskopf. Es ist davon auszugehen, dass Reservoirscaling häufig auftritt, jedoch ist der Nachweis im Einzelnen systembedingt schwierig. Das Auftreten salinärer Ausfällungen ist bei der GENESYS-Bohrung in Hannover, der Geothermieanlage in Groß-Schönebeck und in

Rheinland-Pfalz auch bei den Geothermieranlagen in Landau und Insheim bekannt. Wäre das Reservoirscaling prognostizierbar und kontrollierbar, könnte bei der geothermischen Strom- und Wärmegewinnung ein nachhaltiger Betrieb gewährleistet werden. Aus diesem Grund wurden im Rahmen des Forschungsverbundes ReSalt die Einflüsse und Effekte des Reservoirscalings an ausgewählten typischen Reservoirgesteinen detailliert untersucht. Die planvolle Verringerung induzierter Seismizität wird in der Gesellschaft die Akzeptanz geothermischer Kraftwerke erhöhen. Die Ergebnisse sollen auch im Rahmen der Helmholtz-Forschungsinfrastrukturinitiative GeoLaB und der industriellen Begleitforschung zur Optimierung des experimentellen Designs einfließen und helfen, die dort mit Kristallingesteinen erzielten Ergebnisse zu generalisieren. Wesentliche Ergebnisse in Form kompletter Datensätze, Animationen und zugehörigen Publikationen wurden auf der öffentlichen Plattform <https://www.digitalrockportal.org/> hinterlegt.

Laufzeit: 2017-2021; Fördersumme (Teilprojekt der JGU): 207.000€

BioPore (FFG-Verbundprojekt)

Arbeitskreis Prof. Kersten, Institut für Geowissenschaften, Fachbereich 09

Das internationale Verbundprojekt mit österreichischen und norwegischen Partnern beschäftigt sich mit dem Einfluss mikrobiellen Wachstums auf die hydraulischen Eigenschaften poröser Untergrundgasspeicher. Ein erster Versuch, Wasserstoff in einem Gasfeld zu speichern, wurde in Österreich durchgeführt („Underground Sun Storage“, ein Leitprojekt der FFG). Im Rahmen dieses Pilotprojekts wurde ein Methan/Wasserstoff-Gemisch in einem erschöpften Gasfeld gespeichert, um das Risiko von Wasserstoffverlusten durch physikalische, chemische und biologische Prozesse in der Lagerstätte abzuschätzen. Dabei zeigte sich, dass insbesondere mikrobielle Prozesse zu Wasserstoffverlusten und damit zu Energieverlusten führen. Bei diesen Prozessen wandeln Mikroorganismen Wasserstoff und Kohlendioxid in Methan um. Das Folgeprojekt „Underground Sun Conversion“ wurde eingerichtet, um Mikroorganismen gezielt zur Umwandlung von Wasserstoff/Kohlendioxid-Mischungen in Methan einzusetzen (CO₂-Recycling). Diese In-situ-Gaskonversion führt jedoch zur Bildung von Biomasse im Porenraum der Speichergesteine. Als Folge von übermäßigem Wachstum wird Biomasse den Porenraum für die Gasspeicherung und auch die Durchlässigkeit des Speichergesteins verringern. Infolgedessen kann Biomasse die Speicherkapazität

und die Injektivität erheblich beeinträchtigen. Wenn die Biomasseverteilung die Substratversorgung der Mikroorganismen einschränkt, wäre die Gasumwandlungsrate wahrscheinlich nicht mehr wirtschaftlich darstellbar. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens untersuchen wir systematisch das mikrobielle Wachstum und die daraus resultierenden Konsequenzen im Porenmaßstab. Folgende Forschungsfragen stehen dabei im Fokus: (a) Inwieweit ändert sich die Permeabilität bei wechselnder Porosität? (b) Wie ist die genaue Verteilung der Biomasse im Porenraum? (c) Kann eine Porosität/Permeabilitäts-Beziehung für die Biomasseentwicklung quantifiziert werden? Durch den Einsatz von Mikrofluidik-Experimenten streben wir ein grundlegendes und umfassendes Verständnis des Einflusses von mikrobiellem Wachstum auf die hydraulischen Eigenschaften poröser Medien an und suchen nach einem effizienten Modellierungsansatz zur Voraussage der kritischen Parameter.

Laufzeit: 2018-2022; Fördersumme (Teilprojekt der JGU): 60.000€

Habilitationsprojekt: Natur-Kultur-Verhältnisse im Wandel.

Zur gesellschaftlichen Relevanz radioaktiver Abfallstoffe

Dr. Christiane Schürkmann, Institut für Soziologie, Fachbereiche 02

Untersucht wird aus einer soziomateriellen und soziotechnischen Perspektive der Umgang mit ‚hoch radioaktiven‘ Abfallstoffen. Wichtige Fragestellungen sind u.a.: Wie formiert sich ‚Gesellschaft‘ um solche Materialien? Wie fordern sie zivilgesellschaftliche, gesellschaftliche und wissenschaftliche Organisationen und präformieren deren Prozesse? Welche Verhältnisse von Natur/Kultur lassen sich im Umgang mit diesen Stoffen rekonstruieren?

Das Projekt schließt an posthumane Theorien und Anthropozändiskurse an.

Laufzeit: 2018–2024 (vorr.); Fördersumme: Drittmittelantrag Modul eigene Stelle bei der DFG ist in Arbeit

Nanostrukturierte Heusler Verbindungen als Modellsysteme für die Thermoelektrik

Prof. (apl.) Dr. Gerhard Jakob, Institut für Physik, Fachbereich 08

Thermoelektrische Generatoren können sonst nutzlose Abwärme in wertvolle elektrische Energie umwandeln. Heusler Verbindungen sind Modellsysteme für nanostrukturierte thermoelektrische Materialien. In enger Zusammenarbeit von Theorie und Experiment realisieren wir Heusler Nanostrukturen durch komplementäre 'top down' und 'bottom up' Methoden. Basierend auf ab-initio Berechnungen der elektronischen Struktur und der Transporteigenschaften selektiert das Theorie Projekt die Materialien und Material-kombinationen und wird insbesondere die Grenzflächeneigenschaften berechnen. Die nano-strukturierten Materialien werden als künstliche Übergitter mit einer 'bottom up' Strategie hergestellt und als spontan phasensepariertes Volumenmaterial in einem 'top down' Ansatz. Eine sorgfältige Charakterisierung der strukturellen und thermoelektrischen Eigenschaften ist essentiell, um verlässliche Struktur-Eigenschaftsbeziehungen zu etablieren. Durch einen schnellen Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Experimenten und der Theorie verbessern wir iterativ die Probenqualität und werden die Realstrukturen der Proben in die Berechnung einbeziehen. Durch diese enge Kooperation werden wir ein detailliertes Verständnis der Nanostrukturierung auf die thermoelektrischen Eigenschaften erreichen.

Laufzeit: 1.4.2013-31.12.2019; Fördersumme: 180.000€; Fördermittelgeber: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

MagnEFi, Magnetism and the effects of Electric Field

Kläui-Lab, www.klaeui-lab.de, Institut für Physik, Fachbereich 08.

Um das Pariser Klimaabkommen einzuhalten, muss zukünftig der gesamte Strombedarf aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden. Dabei wird der Strombedarf nicht nur durch die Elektrifizierung von Wärme, Verkehr und Industrie stark wachsen, sondern auch der Strombedarf der Informations- und Telekommunikationstechnologie steigt zurzeit rasant an. Ein wichtiger Hebel, um die Energieeffizienz von elektronischen Geräten und Datenzentren zu steigern, sind die verbauten Speicher, Sensoren und Logik-Bauteile. Magnetische Bauteile bieten hier eine hervorragende Ergänzung, da sie nicht flüchtig sind und beispielsweise ein energiarmaes, ultraschnelles Schreiben und Lesen von Informationen ermöglichen. Besonders ener-

giesparend ist hierbei die Verwendung von elektrischen Feldern, da diese im Gegensatz zu konventionellen Ladungsströmen zum Kontrollieren des magnetischen Zustands sehr wenig Energie benötigen. In dem im Rahmen des Marie Skłodowska-Curie Aktionsprogramms der EU geförderten ITN-Projekts „MagnEFi“ erforscht der Arbeitskreis Kläui gemeinsam mit europäischen Partnern aus der Wissenschaft und Industrie drei Ansätze, um die magnetischen Eigenschaften von Nanostrukturen mit elektrischen Feldern zu kontrollieren: durch direkt angelegte oder ferroisch verstärkte Felder, durch angelegte Spannungen und durch Licht. Die Optimierung und Kombination dieser drei Ansätze kann den Weg zu magnetischen Speichern, Sensoren und Logik-Bauteile mit extrem niedrigem Strombedarf und neuen Funktionalitäten ebnen.

Laufzeit: 2019-2023; Fördersumme: 4.041.157 € (davon 1.011.152 € für Promovierende in Mainz)

Nanoskalige Effekte in Perowskitsolarzellen

Jun.-Prof. Dr. Stefan Weber, Institut für Physik/MPI für Polymerforschung, FB 08

Die Gruppe von Jun. Prof. Dr. Stefan Weber an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz beschäftigt sich mit der Untersuchung von neuartigen Perowskitsolarzellen. Dies geschieht in enger Kooperation mit dem Fachbereich Anorganische Chemie sowie dem Max-Planck-Institut für Polymerforschung. Hybride Perovskitverbindungen sind billige und einfach zu verarbeitende Materialien und haben nahezu ideale physikalische Eigenschaften für die Umwandlung von Licht in elektrischen Strom: Schon eine hauchdünne Schicht von weniger als einem Mikrometer reicht aus um das gesamte einfallende Sonnenlicht zu absorbieren. Gleichzeitig ist es ein sehr guter elektrischer Leiter, der die umgewandelten elektrischen Ladungen schnell und effizient an die Kontakte abgeben kann. So konnten erste Perowskitsolarzellen bereits bei der Effizienz der Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie die bisher besten multikristallinen Siliziumsolarzellen überholen. Um jedoch kommerziell erfolgreich zu sein, ist es wichtig, alle Prozesse zu verstehen, die in der Solarzelle beim Betrieb auftreten. Mittels sogenannter Kelvinsondenmikroskopie (KSM) untersuchen die Mainzer Forscher um Stefan Weber unter anderem den Ladungstransport in beleuchteten Solarzellen. Durch Entwicklung spezialisierter zeitaufgelöster KSM Methoden konnte die Gruppe zeigen, welchen Einfluss ionische Ladung auf das Verhalten der Bauteile haben. Mit einer

anderen Rastersondenmethode, der Piezo-Kraftmikroskop (PFM), konnte die Gruppe sogenannte „ferroelastische Zwillingsdomänen“ in speziellen Perowskitkristallen nachweisen. Die streifenförmigen Strukturen entstehen spontan im Zuge der Herstellung der Perowskite durch mechanische Spannungen im Material. Indem die Forschenden ihre PFM-Bilder mit den Daten einer anderen Methode, der Photolumineszenz-Mikroskopie, verglichen, konnten sie nachweisen, dass sich die Elektronen entlang der Streifen um rund 50 bis 60% schneller bewegten als senkrecht dazu. Im Rahmen des SPP 2196 der DFG forscht die Gruppe außerdem gemeinsam mit Prof. Schmidt-Mende (Uni Konstanz) und Prof. Polarz (Uni Hannover) an Punkt-Defekt-Design und facettierungsselektive optoelektronische Eigenschaften von dotierten hybriden Perowskit-Mikrokristallen.

Laufzeit: 2019-2022; Fördersumme: 225.000€; Fördermittelgeber: DFG

Maßnahmen aus dem Bereich Wissenstransfer

Ferienkurs „KlimAkademie“

Dr. Ute Becker, Grüne Schule im Botanischen Garten, Fachbereich 10,
Wiebke Kött, Exzellenzcluster Prisma+, Fachbereich 08,
apl.-Prof. Dr. Frank Fiedler, Institut für Physik, Fachbereich 08

Im Mittelpunkt des neu ausgearbeiteten MINT-Ferienkurses „KLIMAKademie“ für Schülerinnen und Schüler der Oberstufe stand die naturwissenschaftliche, interdisziplinäre Auseinandersetzung mit dem Thema „Klimawandel und Nachhaltigkeit“. Die KLIMAKademie startete am 4. 8. 2019 nach einem ersten Kennenlernen mit einem öffentlichen Vortrag zum Thema Klimawandel und Nachhaltigkeit mit insgesamt 94 Zuhörenden. Am 5. 8., dem ersten Praxistag, untersuchten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Fachbereich Physik dann verschiedene Funktionsweisen von regenerativen Energieformen am Beispiel der Wind- und Solarenergie. Außerdem beschäftigten sie sich mit der Problematik der Energiespeicherung. Am 6. 8. stand in der Grünen Schule im Botanischen Garten der Einfluss von Klimafaktoren auf die Biodiversität, insbesondere die Anpassung der Pflanzen über verschiedene Photosynthesewege, im Mittelpunkt. Am 7. 8. wurden die Erkenntnisse der ersten Tage in Gruppen mit Experten diskutiert und verschiedene Möglichkeiten des eigenen Engagements besprochen. Die Teilnehmenden wurden für die Klimaproblematik sensibilisiert, eigenes Interesse wurde aktiviert, nachhaltige Verknüpfungen zu eigenem Wissen und aktueller Forschung in

den Naturwissenschaften wurden gemeinsam erarbeitet und zu einer kritischen Reflexion vermeintlich einfacher Lösungsansätze angeregt.

Laufzeit: 2019; Fördersumme: 4.150€; Fördermittelgeber: MWWK RLP

Anmerkung: Beschreibung von 2019, die Durchführungen 2020 und 2021 mussten aus allseits bekannten Gründen leider abgesagt werden.

HOCHSCHULE MAINZ

Die Hochschule Mainz betreibt Energieforschung mit externen Partnern; beispielhaft sind die folgenden Projekte:

SmartTOM 2.0 HS Mainz

Gegenstand des Forschungsprojektes unter der Leitung von Prof. Thomas Giel, Professor für Technisches Gebäudemanagement, ist die Weiterentwicklung des innovativen Energiemonitoring-Systems SmartTOM der Hochschule Mainz. Gestiegene Nutzeranforderungen, komplexer werdende gesetzliche Rahmenbedingungen und die daraus resultierenden höheren Technisierungsgrade von Gebäuden sind verbunden mit zunehmenden Herausforderungen für einen wirtschaftlichen, funktions- und bedarfsgerechten Betrieb von Gebäuden. In der Planungs- und Bauphase müssen die Voraussetzungen für einen effizienten Betrieb geschaffen werden. Das SmartTOM trägt dazu bei, an den Schnittstellen zwischen der Planungs- und Bauphase und der Nutzungsphase die angestrebte Qualität und Energieeffizienz insbesondere der Gebäudetechnik zu sichern. Mit dem Ansatz von SmartTOM 2.0 wird das Gebäude auf den Nutzen einer Niedertemperaturheizung optimiert. Durch die Kooperationen von Hochschule Mainz (Prof. Thomas Giel) und Unternehmen wird damit ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz im Gebäudebestand geleistet. SmartTOM hilft den Nutzern Typfehler in ihren Energieerzeugungsanlagen im Gebäude zu erkennen und zu beheben. Dadurch können Bestandsgebäude so energieeffizient wie möglich betrieben werden und zukünftig für die Wärmewende vorbereitet werden. Durch den Einsatz des SmartTOMs können bis zu 20% des Energieverbrauchs eingespart werden. Das Projekt wurde vom Landkreis Mainz Bingen mit dem Umwelt- und Klimaschutzpreis ausgezeichnet.

Kalte Nahwärme 2.0 HS Mainz

Im Forschungsprojekt Kalte Nahwärme 2.0 wird in Zusammenarbeit mit der Transferstelle in Bingen und den Stadtwerken Schifferstadt der Forschungsschwerpunkt von Prof. Thomas Giel, Professor für Technisches Gebäudemanagement an der Hochschule Mainz, im Bereich der Kalten Nahwärme für den Bestand weiterentwickelt. „Kaltes Nahwärmenetz“ sind eine optimale Lösung für die ökologische Energieversorgung ganzer Areale und Quartiere. Insbesondere bei der Planung von Neubaugebieten bietet dieses Versorgungskonzept den Vorteil, dass der Einsatz fossiler Brennstoffe ausgeschlossen wird und individuell fast CO₂ Neutral nach den spezifischen Bedürfnissen geheizt und bei hohen Temperaturen im Sommer gekühlt werden kann. Potential und Forschungsbedarf besteht hier im Bereich kalter Nahwärmenetze im Bestand sind neue Konzepte der Nutzung von oberflächennahen Kollektor-, SONDENSYSTEME die für die in Bestandsquartieren eingesetzt werden können. Zudem werden innerhalb diese Projektes Auslegungskriterien für eine vereinfachte Dimensionierung der kalten Nahwärme entwickelt.

Fördermittelgeber: BMWi

Optimierte modulare Bauweise von Windenergieanlagen mit Betonfertigteilen

Türme für Windenergieanlagen werden bevorzugt aus Stahlbetonfertigteilen zusammengesetzt, auf die abschließend ein Stahlrohrturm aufgesetzt wird. Dabei werden die Fertigteile nicht miteinander verschraubt, sondern trocken aufeinandergestapelt und mit Spanngliedern in vertikaler Richtung zusammengespannt. Da die Anlagen stetig höher und die Rotordurchmesser immer größer werden erhöhen sich auch die Beanspruchungen aus Wind mit jeder neuen Anlagengeneration. Bläst beispielsweise eine Windböe nur auf eine Rotorhälfte, so erfährt der Turm nicht nur Biegung, sondern auch Torsion. Infolge Torsion verdreht sich der Turm um seine eigene Achse, der Turm verdrillt. Die gleichzeitig auftretende Biegung kann, je nach Auslegung klaffende Fugen hervorrufen, die wiederum den Torsionsabtrag über die Segmentfugen hinweg erschweren. Die bestehenden Nachweiskonzepte zum Torsionstragverhalten trockener Fugen in Kombination mit anderen Beanspruchungen sind entweder zu ungenau oder zu konservativ, um mit dem Fortschritt des Anlagenbaus und den damit verbundenen hohen Lasten mithalten zu können. Daher wird an der Hochschule Mainz unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Andreas Garg, Professor für Professor für Tragwerksplanung, zum

Torsionstragverhalten vorgespannter Segmenttürme geforscht. Entwickelt wurde ein Nachweisverfahren für unter Torsion und Biegung stehende Segmentfugen auf Grundlage der Theorie der Wölbkrafttorsion. Diese wurde bisher vordergründig im Stahlbau angewandt. Eine Anwendung im Massivbau, bzw. für Fugenkonstruktionen ist derzeit einmalig. Das Forschungsvorhaben ist bereits weit fortgeschritten, sodass bereits Versuchsdaten zur Verifikation des Nachweisverfahrens nachgerechnet werden konnten. Die Nachrechnung, der an der Universität Hannover durchgeführten Versuche, haben eine sehr gute Übereinstimmung gezeigt. Die zugehörige Dissertation soll im letzten Quartal 2021 an der Ruhr-Universität Bochum eingereicht werden.

Das Projekt wird gefördert durch die Europäische Förderung für Regionale Entwicklung (EF-RE) sowie das Ministerium für Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur in Rheinland-Pfalz in der Förderlinie „InnoProm“.

In der Forschungsgruppe Holz und Kunststoffe, Leitung Prof. Dr.-Ing. Kay-Uwe Schober, werden folgende Projektvorhaben umgesetzt:

EichenSystem – Erstellung eines Bauwerks mit einem neuartigen Tragsystem aus Eichenschwachholz

Im Rahmen des BMEL-geförderten Forschungsprojektes wird in Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern Holzkompetenzzentrum Trier der Hochschule Trier, Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft der Landesforsten Rheinland-Pfalz und der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg ein Verfahren entwickelt, welches bisher geringwertig genutztes Laubschwachholz aus Eiche einer neuen Produktlinie für bislang vermarktungsproblematische Rohholzsortimente zuführt. In dieser erfolgt neben einer erheblichen Vermeidung von Treibhausgasen der Verzicht auf technische Trocknung und energieintensive Sägewerksprozesse. Das Konstruktionsverfahren für den Nassverbau nutzt dabei bislang geringwertiges Eichenschwachholz für höherwertige, bauliche Zwecke. Durch den Einsatz von Holz geringer Bearbeitungstiefe und ohne technische Trocknung entsteht eine umfassende Verfahrensinnovation in der Produktion von Bauholz in der Holzverarbeitenden Industrie. Das Konzept ist gekennzeichnet durch eine Verringerung beziehungsweise Vermeidung von Verfahrensschritten, die mit einem sehr hohen Energieeinsatz verbunden sind und knüpft dabei an traditionelle Vorgehensweisen der Zimmerer-, Schiffsbauer- und

Wagnerkunst an. Durch individuelle Einzelstammvermessung mit Datenbankerfassung geometrischer, physikalischer und mechanischer Merkmale und Verwendung parametrischer Werkzeuge in der Tragwerksplanung werden die angebotenen Sortimente direkt und individuell in Konstruktionselemente überführt. Um möglichst energieeffiziente Bauwerke errichten zu können, erfolgt die Trocknung „in Service“. Damit kann der energieintensivste Teil der Schnittholzproduktion von über 2.000 MJ/m³ umgangen werden. Die Kohlendioxidbilanz des „neuen“ Ausgangsmaterials führt dabei zu einer tatsächlichen Reduzierung des Treibhauseffektes, ohne dass hier die Einsparpotentiale durch Verschiebung der thermischen Endnutzung bilanziert werden müssen.

MVHolz – Modulare Vergussknotentechnologie für ebene Fachwerkstrukturen aus Rundholz

Das Forschungsvorhaben, gefördert durch das BMWi, fokussiert in Zusammenarbeit mit zwei mittelständischen Unternehmen auf die Entwicklung von Systemanschlüssen in ebenen Fachwerkstrukturen aus Baurundholz. Im Vergleich zu Schnittholz bietet Baurundholz eine einfache und effektive Produktion mit geringerem Aufwand bei der Bearbeitung. Das Verbindungssystem ist modular aufgebaut, um eine einfache Montage zu ermöglichen und schafft durch freie Anpassung an verschiedene architektonische Umgebungen einen Anreiz-effekt für Architekten. Ziel ist dabei die Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten des Rohstoffes Holz durch eine gezielte Nutzung der energetischen Vorteile von Rundholz als extrem günstiges, ressourceneffizientes Roh- und Endmaterial. Bestehende Restriktionen der Verarbeitung von Rundholz durch den Einsatz innovativer hybrider Verbundtechnologien werden behoben und neue Anwendungsbereiche durch digitale Prozess- und Berechnungsmethoden geschaffen. Die Verbindungstechnologie soll dabei eine Alternative zu marktdominierenden Metall-Fachwerken bieten, die bei der Herstellung das 500fache an Energie im Vergleich zu Vollholz benötigen.

CUVAhaus – Energieeffiziente Gebäude auf Basis innovativer Vakuumdämmung zur Erzielung von nahezu vollständiger Energieautarkie sowie Stromüberschüssen für die E-Mobilität mit Breitenwirksamkeit

Das in der BMWi-Fördermaßnahme EnEff.Gebäude.2050 geförderte Forschungsprojekt verfolgt das Ziel, ein Bausystem für energieeffiziente Gebäude auf Basis der einer innovativen Vakuumdämmung aus nachwachsenden Rohstoffen zu etablieren. Dieses soll nicht nur in der Lage sein, seine eigene Energieautarkie zu erreichen, sondern mit Hilfe regenerativer Energien und Photovoltaik einen messbaren Stromüberschuss zu erzielen, mit dem die E-Mobilität der Bewohner gesichert und die Finanzierung der gesamten Investition erleichtert wird. Im Vergleich zu herkömmlichen Gebäuden mit Passivhausstandard wird bei einer geringeren Wandstärke eine wesentlich bessere Dämmleistung erzielt. Durch den stark verringerten Wandquerschnitt werden bei gleicher Kubatur und Geschossfläche im Vergleich zu herkömmlichen Passivhausssystemen eine vergrößerte Nutzfläche, eine verbesserte Gesamtenergiebilanz und verringerte Bau- sowie Betriebskosten erzielt. Dabei kommt das Gebäude durch den ausschließlichen Einsatz von natürlichen Baustoffen ohne toxische bzw. gesundheitlich bedenkliche Rohstoffe aus und ist in hohem Maße nachhaltig und umweltfreundlich. Es erzielt durch die ganzheitliche Verwendung von erneuerbaren Energiekonzepten und Baustoffen eine neue Dimension der Wirtschaftlichkeit im Wohnungs- und Gewerbebau.

UNIVERSITÄT KOBLENZ-LANDAU

ecoLABplus: Energieeffiziente und klimafreundliche Forschung an der Ökosystemforschung Anlage Eußerthal (inklusive Neubau ecoLAB - Gewässerökologisches Forschungsgebäude)

Innerhalb des Projektes ecoLABplus soll mit dem Neubau eines gewässerökologischen Forschungsgebäudes, dem ecoLAB, eine neue Infrastruktur auf dem Gelände der Ökosystemforschung Anlage Eußerthal (EERES) entstehen. Das ecoLAB dient dem Zweck, wissenschaftliche Untersuchungen zu klimawandelinduzierten Veränderungen von regionalen Wald- und Gewässerökosystemen zu ermöglichen. Ein klimafreundlicher und nachhaltiger Bau und Betrieb des ecoLABs ist Bestandteil des Projektziels. Das Projekt bietet die herausragende Möglichkeit, mehrere Nachhaltigkeitsaspekte miteinander zu verknüpfen, wie z.B.:

- nachhaltiges Energiekonzept und dessen Umsetzung an der gesamten Ökosystemforschung Anlage Eußerthal (ecoLAB und Bestandsgebäude),
- Sektorkopplung zur Optimierung des Ressourceneinsatzes,
- Umsetzung eines greenIT-Ansatzes,
- innovativer und modellhafter Bau in digitaler Holzbauweise,
- klimafreundlicher und nachhaltiger Bau und Betrieb des Forschungsgebäudes,
- beispielgebende Verwendung der Kastanie als Baumaterial,
- parallele Nutzung als Forschungs- und Bildungsort mit dem Fokus auf regionale Wald- und Gewässerökosysteme.

Dadurch hat das Projekt das Potential, nicht nur eine hohe Bedeutung auf regionaler Ebene zu erlangen, sondern auch eine überregionale Strahlkraft zu entwickeln. Durch die Lage im Pfälzerwald mit einem natürlichen Bachlauf, zwei Freilandlaboren für Still- und Fließgewässer und verschiedenen Forschungsräumen, bietet das Forschungsgelände ideale Bedingungen, um ökologische Vorgänge in und am Gewässer möglichst naturnah zu untersuchen. Der geplante Neubau des ecoLABs soll die bereits bestehenden Forschungsmöglichkeiten in Eußerthal erweitern. Das ecoLAB wird dabei die Erforschung

- der Auswirkungen des Klimawandels auf regionale Wald- und Gewässerökosysteme,
- anthropogener Einflüsse (z.B. Schadstoffe, Klimawandel) auf unsere heimischen Gewässer und deren Fauna und Flora ermöglichen

Zudem soll durch das ecoLAB die räumliche Möglichkeit geschaffen werden, die breite Öffentlichkeit und Schüler*innen für

- den Schutz heimischer Fischarten,
- regionale Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer und den Pfälzerwald,
- regionales Laubholz als Baumaterial,
- klimafreundliche und innovative, digitale Holzbauweise

zu sensibilisieren.

Zugleich liegt die Anlage in einem vom Klimawandel überdurchschnittlich betroffenen Gebiet. Die Baumart Edelkastanie ist dort seit langem heimisch und wird von der erwartenden Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperaturen vermutlich profitieren. Trotz der günstigen Randbedingungen und der Tatsache, dass etwa ein Drittel des inländischen Aufkommens an Holz dieser Baumart aus der Region stammt, sind Wertstoffketten wenig entwickelt. Das geplante Gebäude leistet insofern einen Beitrag bei der Erschließung neuer Potentiale.

Förderprogramm: Zukunftsfähige Energieinfrastruktur (ZEIS); Drittmittelgeber: MKUEM

BNE-spezifische Experimentierangebote für heterogene Lerngruppen zu Schlüsselthemen einer nachhaltigen Entwicklung (BNEx)

Geldgeber: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Fördersumme: 124.351 €

Projektverantwortliche/Antragsteller:

Prof. Dr. Björn Risch (Projektleitung), AG Chemiedidaktik, Institut für naturwissenschaftliche Bildung (InB) / Marie Schehl (Projektleitung), Zentrum für Bildung und Forschung an Außer-schulischen Lernorten (ZentrAL)

Kurzbeschreibung des Vorhabens:

Die „Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“ der Vereinten Nationen hat 17 Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals, SDGs) formuliert, die bis zum Jahr 2030 erreicht werden sollen (BMZ 2017). Auf dieser Grundlage wurde mit dem Ziel der strukturellen Verankerung der BNE in allen Bildungsbereichen der Nationale Aktionsplan BNE entwickelt. Mit dem Unterziel 4.7 der SDGs wird BNE erstmals als eigenständiges Handlungsfeld definiert. Das UNESCO-Weltaktionsprogramm Bildung für nachhaltige Entwicklung (WAP-BNE 2015–2019) unterstützt weltweite Aktivitäten, um Bildung und Lernen so zu gestalten, dass jeder

die Möglichkeit hat, sich das Wissen, die Fähigkeiten, Werte und Einstellungen anzueignen, die erforderlich sind, um zu einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen.

Im Rahmen des Projekts BNEx werden 40 nachhaltigkeitsrelevante naturwissenschaftliche Experimente zum SDG 6 („Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen“), SDG 7 („Bezahlbare und saubere Energie“), SDG 13 („Maßnahmen zum Klimaschutz“), SDG 14 („Leben unter Wasser“) und SDG 15 („Leben an Land“) in verschiedenen Differenzierungsstufen konzipiert und in zwei Schülerlaboren mit Kindern und Jugendlichen im Rahmen eines Mitmach-Passes an insgesamt 150 Nachmittagen erprobt. Der Transfer der BNE-spezifischen Experimentierangebote in die Bildungseinrichtungen erfolgt über zwei Wege: (a) Fort- und Weiterbildungen (real) und (b) Open Educational Resources (digital). Um eine Implementierung der Angebote in die Bildungseinrichtungen zu initiieren werden transportable Varianten der 40 Experimentierangebote zum Kennenlernen (Mitmach-Pass to go) sowie Handreichungen über eine Online-Plattform zur Verfügung gestellt.

Die wissenschaftliche Begleitung des Projektes soll zur Leerstelle der Erforschung und evidenzbasierten Weiterentwicklung von BNE-spezifischen Experimentierangeboten für heterogene Lerngruppen beitragen. Inwiefern sich die entwickelten Angebote zur Verankerung der SDGs in schulischen und außerschulischen Bildungseinrichtungen eignen, wird begleitend untersucht. Dabei wird sowohl die Wissensebene auf Seiten der Schüler*innen, die Anwendungsebene auf Seiten der Lehrer*innen und außerschulischen Bildungsakteuren als auch die institutionelle Ebene (Schulen/außerschulischen Bildungseinrichtungen) in den Blick genommen.

Online Werkzeuge für die Kommunale Treibhausgasbilanz

Kooperationsprojekt der Energieagentur Rheinland-Pfalz und der Universität Koblenz-Landau, KomBiReK „Kommunale THG-Bilanzierung und regionale Klimaschutzportale RLP“

Projektverantwortliche/Antragsteller:

Dr. Christel Simon, Energieagentur Rheinland-Pfalz, Dr. Stefan Jergentz, Universität Landau

Kurzbeschreibung des Vorhabens:

Das Projekt KomBiReK verfolgt zwei Ziele. Die Treibhausgasbilanz der einzelnen Kommunen in Rheinland-Pfalz soll untereinander vergleichbar sein und die Ergebnisse sollen auf Landkreisebene in einem Klimaschutzportal online präsentiert werden. Hierfür wurde Rheinland-Pfalz weit die Bilanzierungssoftware „Klimaschutz-Planer“ für Kommunen eingeführt. Diese ermöglicht die in der Nationalen Klimaschutzinitiative geforderte Bilanzierungsmethodik. Über Schulungen wird das Klimaschutzmanagement in den Kommunen mit der Verwendung der Software bekannt gemacht. Der Datenservice der Landesenergieagentur unterstützt die Datenbeschaffung für die Treibhausgasbilanzen. Die Ergebnisse aus dem „Klimaschutz-Planer“ werden dann über eine Schnittstelle in die Klimaschutzportale importiert. In den Portalen werden die Bilanzergebnisse als interaktive Graphiken angezeigt und mit weiteren Auswertungen, wie Reduktions- und Einsparpotenziale erweitert. Somit können Szenarien für die kommunalen Einsparziele der Treibhausgase für die nächsten Jahrzehnte aufgestellt werden. Neben diesem Daten- und Infoteil der Klimaschutzportale gibt es weitere Module, die sich von den Kommunen für die Öffentlichkeitsarbeit und die Bürger*innenbeteiligung nutzen lassen. Die Klimaschutzportale sollen so zum einem zentralen Kommunikationsinstrument im Klimaschutz für die Kreise in Rheinland-Pfalz und ihre Kommunen etabliert werden. In den Pilotkommunen mit den Landkreisen Germersheim, Südliche Weinstraße, Bad Dürkheim und der Stadt Landau wird die erste Treibhausgasbilanz und die Potenzialabschätzungen von der Universität in Landau erstellt. Zusammen mit dem Klimaschutzmanagement werden die Klimaschutzportale mit Inhalten gefüllt. Die Klimaschutzportale wurden so entwickelt, dass sie auch für weitere Kreise in Rheinland-Pfalz als Rahmen für die eigenen Klimaschutzaktivitäten genutzt werden können. Einige Landkreise und kreisfreien Städte haben bereits ihr Interesse signalisiert. Das Projekt wird von der Europäischen Union (EFRE-Mittel) und dem Land Rheinland-Pfalz mitfinanziert.

<https://www.energieagentur.rlp.de/kombirek/>

HOCHSCHULE KOBLENZ

1. Vorbemerkung

Im Zuge der Erarbeitung eines Hochschulentwicklungsplans der Hochschule Koblenz (HS KO) in 2019 für die 2020er Jahre und vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen wurde auch das Thema Nachhaltigkeit entsprechend aufgenommen. Nachhaltiges Handeln und nachhaltige Entwicklung auf allen Ebenen der Hochschule werden künftig immer bedeutsamer werden. Die HS KO wird sich deshalb in ihrer Entwicklungsplanung darauf einstellen, einen Beitrag zur Förderung nachhaltiger Entwicklung zu leisten, sowohl in den Bereichen Lehre, Forschung und Transfer wie auch beim Hochschulmanagement. Sie achtet dabei auf eine sparsame und umweltgerechte Nutzung von Energie, Wasser, Materialien und Flächen, die Reduzierung vermeidbarer Abfälle, die Beschaffung von umweltfreundlichen Produkten sowie die Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen. Bei Neu- und Umbaumaßnahmen des Landes kommt energetischen und ökologischen Aspekten besondere Beachtung zu. Nachhaltigkeit soll und muss als Querschnittsthema stärkere Berücksichtigung in Lehre, Forschung und bei Projekten der Hochschulverwaltung finden. Es geht aber nicht nur um die ressourcenschonende Nachhaltigkeitsverantwortung der Hochschule als Einrichtung des öffentlichen Lebens. Selbstverständlich werden globaler Klimaschutz, weltweites Bevölkerungswachstum und Ressourcenverbrauch auch in weitaus stärkerem Maße als bisher zu Themen von Lehre und Forschung. Weitere gesellschaftliche und soziale Dimensionen von Nachhaltigkeit wie Klimawandel als Fluchtursache sowie Quelle sozialer Konflikte und Ungleichheit werden als Themen wissenschaftlicher Betrachtung zunehmend an Bedeutung gewinnen. Neben Themenkomplexen wie beispielsweise dem „Nachhaltigen Bauen“ oder dem Lehr- und Forschungsschwerpunkt zur Stärkung des ländlichen Raums bietet sich in Koblenz auch eine institutionenübergreifende Schwerpunktbildung in der Gewässerkunde mit der Universität an. Das Bundesamt für Gewässerkunde (BfG) und die etablierten, fachspezifischen Professuren von Hochschule und Universität haben gemeinsam die Installation eines national und international wahrnehmbaren Forschungsclusters zum Fokusthema Wasser im Fokus. Ein entsprechendes Institut würde multiple Ausgestaltungsmöglichkeiten (u.a. Hochwasserschutz, Verkehrsinfrastruktur, Klimawandel & Wasser, Umweltverschmutzung & Wasser) eröffnen.

2. Studiengänge

Studiengänge der HS KO, die sich thematisch mit „Energie“ beschäftigen (Stand Sommersemester 2021):

Wasserbau/Bauingenieurwesen dual, B.Eng.	Modul „Wasserbau“, „Wasserwesen“ (Thema Wasserkraft)
Bauingenieurwesen, B.Eng.	Modul „Wasserbau“, „Wasserwesen“ (Thema Wasserkraft)
Umwelt-, Wasser- und Infrastrukturmanagement, B.Eng.	Modul „Wasserbau“ (Thema Wasserkraft), „Wasserwesen“
Bauwirtschaftsingenieurwesen, B.Sc.	Modul „Wasserwesen“ als Wahlpflichtfach
Bauingenieurwesen, M.Eng.	Wahlpflichtmodul „Interdisziplinäre Energietechnik“ Modul „Wasserbau“, „Wasserbauliches Versuchswesen“ (Thema Wasserkraft)
Elektrotechnik, B.Eng.	
Informationstechnik, B.Eng.	z.B. Pflichtfach „Elektronik“ und weitere Module im technischen Wahlpflichtbereich
Maschinenbau, B.Eng.	Gestaltung von Wärmekraftanlagen, Pflichtmodul „Elektronik“
Entwicklung & Konstruktion	z.B. Pflichtfach „Elektronik“ und weitere Module im technischen Wahlpflichtbereich
Wirtschaftsingenieurwesen B.Sc.	insbesondere in den Wahlpflichtbereich Module zu elektrischen Maschinen, Regenerativen Energietechnik etc.

Wirtschaftsingenieurwesen M.Sc.	u.a. Modul „Anlagentechnik“
Maschinenbau, M.Eng.	Aufbaustudiengang zu den Bachelorstudiengängen
Systemtechnik, M.Eng.	Aufbaustudiengang zu den Bachelorstudiengängen

3. Forschungsschwerpunkte (F&E)

Im Bereich Forschung und Transfer sind für den Berichtszeitraum folgende Projekte im Bereich Energie zu nennen:

a) Forschungsgruppe Energietechnik

M. Eng. Christian Braasch, Prof. Dr.-Ing. Marc Nadler, Prof. Dr.-Ing. Willi Nieratschker

Adsorptionstechnik: Charakterisierung von Adsorptionsmaterialien zum Einsatz in Adsorptionskälteanlagen/-Wärmepumpen

Die Anreicherung von Stoffen aus einer fluiden Phase an der Oberfläche eines Festkörpers wird als Adsorption bezeichnet. Dieser physikalische Prozess findet in wärmebetriebenen Adsorptionsanlagen, welche je nach Bedarf als Kälteanlage oder Wärmepumpe betrieben werden können, eine technische Anwendung. Im Gegensatz zu klassischen Kompressionsanlagen beruhen die Adsorptionsanlagen auf dem Prinzip der thermischen Verdichtung. Die für den Kreisprozess notwendige Energie wird dabei nicht durch einen Kompressor, sondern durch Wärmezufuhr von außen bereitgestellt. Dabei können unterschiedliche Wärmequellen, wie z. B. Solarwärme, das Fernwärmenetz, BHKWs oder Prozess(ab)wärme bis zu 60 °C genutzt werden. Die eingesetzten Stoffpaare Adsorbens/ Adsorbat sind dabei entscheidend für den Wirkungsgrad dieser Anlagen. Die Charakterisierung der Adsorptionsmittel (Adsorbens) ist entscheidend für die Auswahl des Adsorptionsmaterials und den jeweils vorliegenden Anwendungsfall.

Der 2018 in Betrieb genommene Adsorptionsprüfstand an der HS KO kann Adsorptionsisothermen und -isobaren im relevanten Temperatur- und Druckbereich messen. Die Auswahl der zu untersuchenden Proben erfolgte in Kooperation mit InvenSor GmbH.

Laufzeit: ab 01.07.2018; Partner: InvenSor GmbH; Förderung durch: interne Mittel

b) Forschungsgruppe Energietechnik

M. Eng. Christian Braasch; Prof. Dr.-Ing. Marc Nadler; Prof. Dr.-Ing. Willi Nieratschker

Advanced Control Algorithms for the Management of Decentralised Energy Systems (ACA-MODES) - Sektor-gekoppelte und ökonomische Betriebsführung von dezentralen Prosumern unter Einsatz fortschrittlicher Regelungsalgorithmen

Der Anteil volatiler Energieerzeugung nimmt infolge des Ausbaus erneuerbarer Energien stetig zu. Diese Energieerzeuger werden vorwiegend in lokalen bzw. regionalen Netzen integriert, wo die stark schwankende Erzeugung zu Netzengpässen führen kann. Gleichzeitig bietet die Oberrhein-Region mit ihren Energieversorgern und -genossenschaften eine hervorragende Möglichkeit, Methoden zum grenzüberschreitenden, netzdienlichen Betrieb hybrider Energiesysteme zu untersuchen und zu entwickeln. Die folgenden Aspekte bilden den Fokus des INTERREG V Oberrhein Projekts ACA-MODES:

- Entwicklung systemübergreifender, netzdienlicher Betriebsführungsstrategien
- für Sektor-gekoppelte, hybride Energiesysteme, die die Nutzenergien Wärme/Kälte und Elektrizität mit verschiedenen (insbesondere regenerativen) Endenergien bereitstellen
- mit Energieprosumern in Quartieren und Stadtvierteln mit einer elektrischen Anschlussleistung von ca. 1 MW.
- Im Rahmen des Projekts entsteht mit der technischen Verknüpfung und gemeinsamen Systemoptimierung von fünf überregional verteilten Energieinseln zudem eine konkrete Umsetzung der entwickelten Methoden und Strategien, die die Demonstration der Methoden und deren Test an Realsystemen ermöglichen.

Laufzeit: 01.09.2019 – 31.08.2022; Partner: HS-Offenburg; HS-Karlsruhe; INSA-Strasbourg; Universität Freiburg; Förderung durch: EU, EFRE-Interreg am Oberrhein

4. Maßnahmen und Initiativen

4.1 Liegenschaften und Mobilität

a) Liegenschaften: Energieeinsparungen und kontinuierliche Optimierung

Besonders beim energieintensiven Bereich der Liegenschaften achtet die HS KO darauf, an ihren drei Standorten sparsam und energieeffizient zu agieren.

RheinAhrCampus (Remagen)

Beispielhaft sei hier erwähnt, dass am RheinAhrCampus (RAC) am Standort Remagen vom LBB auch in 2019 noch weitere LED-Leuchten in den Fluren und Foyers eingebaut wurden wie, auch eine neue (sparsame) Heizkesselanlage installiert wurde.

Wenn man zudem die Energieverbräuche von 2019 und 2020 miteinander vergleicht, stellt man größere Einsparungen fest. Diese sind jedoch in der Hauptsache auf den Lockdown aufgrund der Sars-CoV-2-Pandemie zurückzuführen.

Diese Einsparung stellt sich in den einzelnen Energieträgern am RAC folgendermaßen dar (vgl. auch die Daten im Bereich "Umweltinformationen": <https://www.hs-koblenz.de/hochschule/organisation/zentrale-einrichtungen/verwaltung/hausverwaltung-haustechnik/rheinahrcampus/energieausweis-umweltinformationen>):

- Gas > 21 % Einsparung
- Strom > 16 % Einsparung
- Wasser > 21 % Einsparung
- Diesel für Dienst-KFZ > 62 % Einsparung

RheinMoselCampus (Koblenz) und RheinAhrCampus (Remagen)

Darüber hinaus sind die Mitarbeiter(innen) der Hausverwaltungen / Haustechnik

an den Standorten RheinMoselCampus und RheinAhrCampus zurzeit bestrebt (Beginn des Projekts 2019), zusammen mit dem LBB und deren Energie Competence Center ein Contracting zu befördern, das nicht nur die Neubewertung der Gebäudehülle zur Folge hat,

sondern auch die Installation einer flächigen Photovoltaikanlage sowie die Modernisierung aller raumluft-technischen Anlagen. Die Mitarbeitenden in den entsprechenden Abteilungen der HS KO stehen in engem Austausch mit dem fachlichen Ansprechpartner des Competence Center Energiemanagement beim LBB bzw. unterstützen diesen mit Informationen und Ideen rund um das Thema "Energieeinspar-Potenzial an den Hochschulgebäuden" (<https://www.kompetenzzentrum-contracting.de/modellvorhaben/teilnehmer-des-modellvorhabens/rheinland-pfalz/>)

Die Hochschule plant hier folglich, sowohl kurz- als auch mittelfristig, die eigenen Gebäude nachhaltig mit Energie zu versorgen. Hierfür ist die in Planung begriffene Errichtung der erwähnten Photovoltaik-Anlagen auf den Dächern ein Beispiel. Zudem hat man in den letzten Jahren beim Energieverbrauch Reduzierungen erreicht.

b) Einsatz von Elektromobilität und Auszeichnung der Hochschule als ÖKOPROFIT-Betrieb

An der HS KO stehen nicht nur zukunftsorientierte Lehre und Forschung im Vordergrund, sondern auch eine ökologische Ausrichtung im Sinne der Nachhaltigkeit. Daher wurden bereits Ende Mai 2018 zwei Elektro-Hybrid-Fahrzeuge und vier E-Bikes für umweltschonende, emissionsfreie Transporte im Stadtgebiet und zwischen den drei Standorten der Hochschule angeschafft. Nach der Erweiterung des Semestertickets und der damit verbundenen Stärkung des ÖPNV war dies ein weiterer Schritt der Hochschule, das Mobilitätsmanagement ökologischer zu gestalten. Zudem forscht ein Wissenschaftler der Hochschule im Rahmen eines innovativen Projekts daran, Straßenlaternen als schnelle Ladestationen für Elektrofahrzeuge zu nutzen. Mit der Einführung der Elektromobilität leistet die HS KO einen weiteren Beitrag, um über die gesetzlichen Anforderungen hinaus ihren Beitrag für den Klimaschutz zu leisten und das Umweltbewusstsein an der Hochschule zu befördern. Bereits Anfang des Jahres 2018 wurde die Hochschule, die im Jahr 2012 zum ersten Mal das Ökoverkehrssiegel der Stadt Koblenz in Silber erhalten hatte und seit 2016 das goldene Siegel trägt, zum wiederholten Male als ÖKOPROFIT-Betrieb ausgezeichnet. ÖKOPROFIT-Betriebe engagieren sich, über das vom Gesetzgeber geforderte Maß hinaus, für den betrieblichen Umweltschutz. Sie erfüllen zusätzlich die Kriterien, welche im Rahmen der ÖKOPROFIT-Prüfung an sie gestellt werden. Wesentliche Ziele sind die Verbesserung der Ressourceneffizienz und Reduzierung des Energiebedarfs.

4.2 Hochschulinterne Projekte

a) Projektgruppe prüft Energiesparmaßnahmen an der Hochschule Koblenz

Im Rahmen eines hochschulinternen Projektes haben sich fünf Studierende aus dem Fachbereich Ingenieurwesen im ersten Halbjahr 2019 rund 12 Wochen lang intensiv mit Energieeinsparmaßnahmen an der HS KO beschäftigt. Ziel des Projektes war es, die Energieeffizienz der Mitarbeitenden in zwei festgelegten Gebäudeteilen am RheinMoselCampus in Koblenz zu untersuchen, um zukünftig bis zu 3 % Energie einzusparen und dadurch auch Kosten zu reduzieren. Das Bewusstsein für einen energieeffizienteren Umgang – vor allem mit elektrischer Energie – in der alltäglichen Berufswelt aller Beteiligten sollte darüber hinaus gefördert werden.

Bereits im April starteten die Studierenden aus den Fachrichtungen Bauwirtschaftsingenieurwesen und Wirtschaftsingenieurwesen mit Mitarbeiterbefragungen und erstellten eine Daten-sammlung, um das Energieverhalten der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu untersuchen. Gleichzeitig verglichen sie die Stromverbräuche der letzten drei Jahre aus zwei Gebäudeteilen der Hochschule miteinander. Damit wurden mehr als 120.000 Strommesswerte zu Graphen vereinfacht, um die Teilnehmer(innen) des Projekts für die Energiesparmaßnahmen zu sensibilisieren und gleichzeitig die Ergebnisse ihres Engagements visualisieren zu können.

Im Rahmen des Projekts wurden 43 Mitarbeitende befragt. Durch angebrachte Stromspar-Hinweise auf Aufklebern an den Lichtschaltern und auf dem Flurboden oder persönliche Gespräche mit den Mitgliedern des Projektteams wurden die Mitarbeitenden für Energiesparmaßnahmen sensibilisiert. Auftraggeber der Maßnahme war die Haustechnik an der Hochschule. Unterstützt wurde die Projektgruppe außerdem vom Dekan des Fachbereiches bauen – kunst – werkstoffe.

b) Digitalisierung von Verwaltungsprozessen

Im Zuge der sukzessiven Digitalisierung von administrativen Prozessen wird auf Ressourcenschonung geachtet. Weitere niedrigschwellige aber effektive Maßnahmen zu einer verantwortungsvollen Nutzung der Ressourcen, wie etwa das Einsparen von Papier, sollen

künftig umgesetzt werden, wie auch die Mitarbeitenden der Hochschule hierfür kontinuierlich sensibilisiert werden sollen.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

Die Technische Universität Kaiserslautern hat im Hochschulentwicklungsplan sechs strategische Forschungsfelder festgelegt. Drei dieser Forschungsfelder beinhalten auch wichtige Themenbereiche im Bereich der Energieforschung. Im Forschungsfeld „Ressourceneffizienz und nachhaltige Entwicklung“ wird die Nutzung recycelter und nachwachsender Rohstoffe und insbesondere die Herstellung alternativer Kraftstoffe erforscht. Daneben werden Rahmen des Potentialbereichs NanoKat der Forschungsinitiative Rheinland-Pfalz neue chemische Reaktionen, robuste Katalysatorsysteme, hocheffiziente Trennverfahren und neue Konzepte zur Verfahrensführung entwickelt, die eine nachhaltige und energieeffiziente Wertschöpfung ermöglichen. Das Forschungsfeld „Hochleistungswerkstoffe und -konstruktionen, Produktionstechnik“ beinhaltet unter anderem die Entwicklung von Hochleistungswerkstoffen insbesondere für den Leichtbau und die dazu gehörigen effizienten Produktionsprozesse. Diese Entwicklungen sind die Grundvoraussetzung für einen effektiven Material- und Primärenergieeinsatz beispielsweise in der Verkehrstechnik. Auch im Forschungsfeld Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft werden wichtige Themen der Energieforschung bearbeitet wie beispielsweise im Bereich Elektromobilität oder intelligente Netze.

An der Technischen Universität Kaiserslautern liefen in den Jahren 2018 und 2019, neben aus diversen anderen Programmen geförderten Projekten, ca. 30 Vorhaben, die Rahmen des 2018 ausgelaufenen 6. und des aktuell laufenden 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung gefördert wurden bzw. werden. Im Folgenden sind ausgewählte Beispiele dieser Vorhaben beschrieben.

Ausgewähltes Beispiel Verbundvorhaben: IndiAnaWind - Interdisziplinäre Analyse und Optimierung von Windenergieanlagen und ihren Komponenten

01.08.2019-31.07.2022

IndiAnaWind befasst sich mit Fragestellungen zur Analyse und Optimierung der Gesamtanlage und deren Komponenten unter Berücksichtigung der Disziplinen Aerodynamik, Aeroa-

kustik, Struktur, Regelung sowie Gelände. Aus industrieller Sicht ist die stärkere Nutzung hochgenauer numerischer Berechnungsmethoden bei der Entwicklung zukünftiger Multimegawatt-Anlagen notwendig, um eine zuverlässigere Vorhersage der standortspezifischen Lastcharakteristiken zu ermöglichen und den im Vergleich zu bisherigen Anlagenentwürfen deutlich abweichenden Entwurfsanforderungen von Schwachwindauslegungen gerecht zu werden. Bei diesen Anlagen ist es notwendig, dickere Profile, u.a. mit stumpfer Hinterkante (Flatback), deren aerodynamische und akustische Eigenschaften wenig erforscht sind, über große Bereiche des Blattes zu nutzen. Ziel des Teilprojekts der TU Kaiserslautern ist die Entwicklung effizienter Optimierungsmethoden für die aerodynamische und aeroakustische Formoptimierung der Windenergieanlagen und deren Komponenten. Aus industrieller Sicht wird ferner angestrebt, diese Methoden entsprechend zu erweitern, damit Unsicherheiten, die im Entwurfsprozess auftreten auch im Optimierungsprozess effizient behandelt werden können. Aus wissenschaftlicher Sicht werden folgende Ziele angestrebt: Erprobung Adjungierten-basierter Formoptimierungsmethoden für hochkomplexe Konfigurationen im Windenergiebereich, Entwicklung von Ersatzmodellen, die von Gradienteninformationen profitieren können, Bewertung von Unsicherheiten unter Nutzung der Blatt-Elemente-Methode sowie robuste Optimierung von Blattkomponenten durch den Einsatz von Ersatzmodellen. Dem IndiAnaWind-Konsortium gehören neben der TU Kaiserslautern zwei weitere Universitäten, das DLR sowie ein Industrieunternehmen an. Gefördert wird das Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

Ausgewähltes Beispiel Verbundvorhaben: ZellNetz2050 - Simulation des Aufbaus zellularer Energienetzstrukturen

01.05.2019-30.04.2022

Die Energiewende in Deutschland birgt gänzlich neue Herausforderungen für die Energieversorgung. Adäquate und zuverlässige Energiesysteme und insbesondere ein stabiles elektrisches Energieversorgungsnetz sind die Grundvoraussetzung einer leistungsfähigen Wirtschaft. Der Wechsel zu fluktuierenden erneuerbaren Energien (EE) geht mit der geographischen Verschiebung der Erzeugungsschwerpunkte in ländliche Räume und der zeitlichen Verschiebung zwischen Erzeugung und Verbrauch einher. Dies führt zu neuen Anforderungen an Struktur und Regelung des Elektrizitätsversorgungsnetzes. So würde das EE-Angebot zunehmend ungenutzt bleiben, da zu vielen Zeitpunkten weder ausreichend Last

noch Speicher zur Verfügung stehen. Gleichzeitig müsste für Zeiten mangelnder EE-Erzeugung eine gesicherte konventionelle Erzeugungsleistung mindestens in Höhe der Spitzenlast vorgehalten werden. Die punktuell hohen Erzeugungsleistungen beeinflussen zudem die Spannungsqualität und die thermische Belastung der Betriebsmittel. Zur erfolgreichen Integration großer Mengen fluktuierenden EE-Stroms muss das Energieversorgungssystem daher deutlich flexibler werden. Die notwendige Flexibilität kann grundsätzlich durch Speicher, Eingriffe auf der Erzeugungs- und Verbraucherseite, durch die Bereitstellung ausreichend hoher Übertragungskapazitäten sowie durch die Kopplung mit anderen Sektoren, beispielsweise den Energiesystemen Wärme- und Gasversorgung oder der Mobilität bereitgestellt werden. Um die Sicherheit der Stromversorgung auch bei weiter zunehmender Integration fluktuierender EE zu garantieren muss die bestehende Netzinfrastruktur und der Netzbetrieb angepasst und weiterentwickelt werden. Das Forschungsprojekt ZellNetz2050 untersucht den „Ansatz der zellularen Netzstruktur“, mit dem diese Anpassung gelingen soll. Das ZellNetz2050 Konsortium setzt sich neben der TU Kaiserslautern aus weiteren Universitäten, Industrieunternehmen und städtischen Versorgungsbetrieben zusammen. Gefördert wird das Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

Ausgewähltes Beispiel Verbundvorhaben NAMOSYN: Nachhaltige Mobilität durch synthetische Kraftstoffe

01.04.2019-31.03.2022

Ziel des Projektes NAMOSYN ist es, synthetische Kraftstoffe für Diesel- und Ottomotoren zu entwickeln und zu testen, die nachhaltig produziert und genutzt werden können. Das bedeutet, dass das beim Fahren emittierte CO₂ zuvor aus anderen Quellen entnommen wurde, so dass in der Summe wesentlich weniger Treibhausgase durch die Nutzung des Kraftstoffs freigesetzt werden. Dies ist die Hauptmotivation zur Entwicklung der synthetischen Treibstoffe, auch SynFuels genannt. Ein weiterer Vorteil sind die günstigen Verbrennungseigenschaften einiger dieser Stoffe, durch die die lokale Emission von Stickoxiden und Feinstaub gesenkt wird. NAMOSYN entwickelt kostengünstige und energieeffiziente Herstellverfahren für SynFuels und testet diese Kraftstoffe im Motor. Die SynFuels müssen in herkömmlichen Motoren einsetzbar sein, damit die Fahrzeuge von heute ohne große Umrüstungen schon in wenigen Jahren klimafreundlicher unterwegs sind. Dem NAMOSYN-Konsortium gehören neben der TU Kaiserslautern weitere Universitäten, Fraunhofer-Institute, Großforschungsein-

richtungen und Industrieunternehmen an. Dadurch wird die komplette Wertschöpfungskette von der chemischen Synthese über Verfahrensentwicklung, Anlagenbau und Motorentchnik bis zum Automobilhersteller ab. Das ist eine große Stärke von NAMOSYN, weil synthetische Kraftstoffe nur dann erfolgreich entwickelt werden können, wenn Experten für alle Schritte von der Bereitstellung der Ressourcen über die chemische Herstellung bis zum Praxistest im Motor zusammenarbeiten. Koordiniert wird das Projekt mit seinen 37 Projektpartnern von der DECHEMA in Frankfurt. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Ausgewähltes Beispiel Verbundvorhaben BFKCraft: Entwicklung eines energieeffizienten, kostengünstigen Verstärkungssystems und Herstellungsprozesses für basaltfaserverstärkten Kunststoffes (BFK) zur statistischen Gebäudesanierung als Betonpflaster.

01.04.2019-31.03.2022

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung einer innovativen, energieeffizienten, basaltfaserverstärkten Kunststofflamelle (BFK-Lamelle) für das Bauen im Bestand als filigranes Betonpflaster. Das erfolgt über eine integrale Betrachtung der Einzelkomponenten über den Verbundwerkstoff bis zum Verstärkungssystem unter Berücksichtigung der Herstellprozesse und der baulichen Anwendung. Die Ideengrundlage des Projektes ist die konsequente Weiterentwicklung und energetische Optimierung von seit Jahrzehnten, etablierten Verstärkungsmaterialien aus carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK). Das Forschungsprojekt leistet einen wesentlichen Beitrag zur Energieeffizienz im industriellen Bereich. Dabei liegt ein Fokus auf der energetischen Optimierung des Pultrusionsprozesses mittels Mikrowellentechnologie. Dadurch werden die Produktionszeit verkürzt, höhere Stückzahlen ermöglicht und Energie durch eine effizientere Aushärtung des Faser-verbundkunststoffes eingespart. Weiterhin bietet Basalt als Naturprodukt die Möglichkeit es zu recyklieren. So ist es möglich Verschnitte und abgerissene Lamellen durch Aufarbeitung und anschließendes Einschmelzen wiederzuverwenden. Das BFKCraft-Konsortium setzt sich neben der TU Kaiserslautern aus dem Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe und zwei Industrieunternehmen zusammen. Gefördert wird das Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

HOCHSCHULE KAISERSLAUTERN

Forschungsschwerpunkt Hocheffiziente technische Systeme

Die Hochschule Kaiserslautern konzentriert die Themen Energie- und Ressourceneffizienz unter anderem im Forschungsschwerpunkt „Hocheffiziente technische Systeme“. Der Forschungsschwerpunkt verfolgt einen systemischen Ansatz. Er bündelt und vernetzt die vorhandenen Kompetenzen in den Disziplinen Elektrotechnik, Maschinenbau und Informatik, um domänenübergreifend technische Systeme zu optimieren. Der Forschungsschwerpunkt ist an der Hightech-Strategie der Bundesregierung ausgerichtet und konzentriert sich auf die Erarbeitung von Lösungen für prioritäre gesellschaftliche Herausforderungen, wie Mobilität, Gesundheit, Nachhaltigkeit, Energie und Klima. Die Projekte innerhalb des Forschungsschwerpunkts weisen eine große Anwendungsnahe auf und werden in der Regel gemeinsam mit Partnern aus der Industrie bearbeitet. Enge Kooperationen bestehen mit den In-Instituten der Hochschule Kaiserslautern für Kunststofftechnik Westpfalz (IKW), Energieeffiziente Systeme (IES) und Quality, Modeling, Manufacturing, Materials (QM3) sowie mit dem Kompetenzzentrum Mechatronische Systeme.

In der Arbeitsgruppe für „Elektrotechnische Systeme der Mechatronik“, geleitet von Prof. Dr.-Ing. Sven Urschel, ist ein wesentlicher Forschungsgegenstand die Verbesserung der Energie- und Ressourceneffizienz rotierender Maschinen:

Im Projekt „HYDRESS“ (Entwicklung neuer Konzepte für hydromechatronische Aggregate zur signifikanten Erhöhung der Ressourceneffizienz) sollen vor dem Hintergrund der Megatrendthemen Energieeffizienz, Ressourcenminimierung und auch Reduzierung von kritischen Werkstoffen im Bereich der Pumpentechnologie für Klima- und Trinkwassersysteme neue Wege beschritten und Innovationen vorangebracht werden. In diesem Verbundprojekt, gefördert vom BMBF, sollen durch das Zusammenspiel und die synergetische Nutzung der unterschiedlichen Kompetenzen der Projektpartner innovative Umwälzpumpen entwickelt werden. Dies wird erreicht durch neue Aufbaukonzepte sowie den Einsatz neuartiger Werkstoffe (etwa Soft Magnetic Composites) und Fertigungstechnologien (etwa eingespritzte kunststoffgebundene Magnete), um die Hauptkomponenten elektrischer Motor und Pumpenaggregat zu optimieren.

Im Projekt „DIAdEM“ (Betriebsdaten basierte Diagnose rotierender Maschinen für einen nachhaltigen, zuverlässigen und hocheffizienten Betrieb) sollen zur betriebsbegleitenden Beurteilung rotierender Maschinen (Pumpen, Lüfter, Kompressoren) Algorithmen entwickelt

werden, die auf Basis standardmäßig verbauter Sensorik Aussagen über den aktuellen und auch den zukünftigen Zustand der Aggregate treffen können. So wird eine einfache Bewertung von Energieeffizienz und Verschleiß der Maschinen möglich und der Betreiber kann über entsprechende Anlageneingriffe eine nachhaltige Fahrweise garantieren. Gegenüber dem Stand der Technik sollen die Verfahren allein aus den elektrischen Größen des Motors (Strom und Spannung) auf den Zustand von Elektromotor, Arbeitsmaschine und Anlage schließen können. Hierzu werden erstmals auf Basis transienter Stromsignatur-Analysen Algorithmen entwickelt, die modellbasierend, prädiktiv und lernend sind. Das Projekt wird ebenfalls vom BMBF gefördert.

Dem Projekt „ORSYGET“ (Entwicklung optimierter Regelungen hydraulischer Systeme in der Gebäudetechnik zur Steigerung der Energieeffizienz von Heizungs- und Klimatisierungssystemen) liegt die Prämisse zugrunde, die Wärme und Kälte in Gebäuden bedarfsgerecht und möglichst effizient bereitzustellen und zu verteilen. Dabei liegt der Fokus nicht in der Weiterentwicklung und Verbesserung einzelner Komponenten, sondern auf der Gebäudesystemtechnik und damit auf dem Gesamtsystem. Denn nur durch Optimierung des Systems lassen sich hohe Energieeinsparpotentiale ausschöpfen. Ansatzpunkte für die Optimierung des Gesamtsystems ergeben sich in diesem Vorhaben in folgende Richtungen: ^[SEP]Erweiterung der Regelaufgabe auf Gebäudesystemebene, Integration in eine gebäudebezogene bzw. eine gebäudeübergreifende Cloud, optimale Integration der Pumpenregelung in die Gebäudeleittechnik, Ableitung standardisierter Kommunikationsschnittstellen bis zur Feldebene und Analyse von Sicherheitskonzepten vernetzter Heizungs- und Klimakreisläufe. Gefördert wird dieses Projekt vom BMWi im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms.

Ein weiterer Forschungsgegenstand innerhalb des Forschungsschwerpunkts „Hocheffiziente technische Systeme“ liegt im Themenfeld der effizienten Energieübertragung. In der Arbeitsgruppe „Regenerative Energiesysteme“ von Prof. Dr.-Ing. Karsten Glöser werden entsprechende Projekte bearbeitet:

Im Projekt „SupraWind“ (Entwicklung von hocheffizienten modularen Stromschienensystemen auf Basis von Hochtemperatursupraleitern zur Übertragung großer Leistungen von Windparks auf Mittelspannungsniveau) wird zur Übertragung großer Leistungen aus On-Shore Windparks ein energieeffizientes, kompaktes und modular aufgebautes dreiphasiges Übertragungssystem auf Basis von Hochtemperatursupraleitern für die Mittelspannungsebene entwickelt. Im Gegensatz zur konventionellen Übertragungstechnik erlaubt der Einsatz von Hochtemperatursupraleitern die Übertragung großer Ströme auch auf Mittelspannungs-

niveau. Die Eigenschaft der Supraleiter, bei tiefen Temperaturen keinen messbaren Widerstand auszubilden, ermöglicht einen energie- und ressourceneffizienten Einsatz des Systems bei geringsten Übertragungsverlusten und einem deutlich minimierten Landschaftsverbrauch. Im Mittelpunkt des Projekts steht die Entwicklung eines Demonstrators in Kooperation mit einem mittelständigen Unternehmen mit Sitz in Rheinland-Pfalz. Zum Einsatz kommen hierbei Hochtemperatursupraleiter der 2. Generation in Form von REBCO-Bändern. Diese neuartigen Materialien wurden erst 1986 entdeckt und erreichen den supraleitenden Zustand bereits bei einer Betriebstemperatur von ca. 77 K (-196°C). Das Projekt wird aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung sowie aus Landesmitteln gefördert.

Aufgrund von Kapazitätsengpässen und partieller Überalterung der bestehenden Netzinfrastruktur muss ein qualitativer und quantitativer Netzausbau in den nächsten Jahren erfolgen. Gleichzeitig steigt der Bedarf, Zustandsinformationen des Netzes zu erheben und zu übertragen (intelligente Netze). Das Projekt „SuSy“ befasst sich mit der gleichzeitigen Übertragung von elektrischer Energie und Informationen auf Basis supraleitender Technologie. Mit Hilfe der Ergebnisse wird eine Erneuerung und Erweiterung innerhalb bestehender Infrastruktur ermöglicht bei gleichzeitiger Reduktion der Netzübertragungsverluste. Das Projekt wird aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung sowie aus Landesmitteln gefördert.

Im Rahmen des internen Forschungsprojektes „INES“ wird ein skalierbares Modell entwickelt, mit dem beliebige regenerativ gespeiste Inselnetze in Kombination mit Speichern dimensioniert werden können. Gerade in Entwicklungs- und Schwellenländern ist eine dauerhafte Versorgung mit elektrischer Energie oft nicht gegeben und eine Anbindung an übergeordnete Netzstrukturen besteht häufig nicht. Mit Hilfe der Projektergebnisse wird die Basis geschaffen, um nachhaltige Versorgungsstrukturen aufzubauen und somit einen Beitrag zur ressourcen- und klimaschonenden Entwicklung ländlicher Gebiete zu leisten. Der Aufbau des Modells erfolgt dabei modular. Ein solches „Baukastensystem“ erlaubt auf einfache und schnelle Weise eine Bewertung der technischen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit eines realen regenerativen Versorgungssystems.

HOCHSCHULE LUDWIGSHAFEN

Projekt: RessourceAdapt und darauf aufbauend Produktion eines MOOCs in China zur „Energieorientierten BWL“

Laufzeit RessourceAdapt: bis 31.3.18, Produktion des chinesischen Onlinekurses 2018/19

Förderermittelgeber RessourceAdapt: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Fördermittelgeber MOOC in China: Beijing Normal University, Peking

Kooperationspartner für RessourceAdapt: UData GmbH

Die Projektpartner HWG und UDATA GmbH entwickeln Weiterbildungen zu den Themen energieorientierte BWL und Klimawandel. Diese werden kostenfrei hier zur Verfügung gestellt auf energie-bwl.de (Deutsch) und energy-business.net (Englisch). Zahlreiche innovative Instrumente im Werkzeugkasten der BWL begegnen dabei den neuen Herausforderungen, beispielsweise schwankenden Preise an den Strombörsen, der Notwendigkeit einer Treibhausgasrechnung oder den Möglichkeiten durch Industrie 4.0.

Während einer eingeladenen Gastprofessur an der Beijing Normal University im Wintersemester 2018/19 wurde der Ansatz auf China angepasst und der entsprechende MOOC auf Chinesisch produziert.

UNIVERSITÄT TRIER

Maßnahmen aus dem Bereich Energieforschung und Wissenstransfer

Forschungsschwerpunkte:

Ein Schwerpunkt von Prof. Christoph Emmerling (Fachbereich VI – Bodenkunde) ist die Forschungen zu alternativen Dauerkulturen als regenerative Energien aus der Landwirtschaft.

In diesem Zusammenhang sind beispielhaft folgende Projekte zu nennen:

Regionaler Anbau von Energiepflanzen: Rückkopplungen auf Landnutzung, Böden und Biodiversität

Der Ausbau der Biomasseproduktion zur energetischen Nutzung steht zu anderen Flächennutzungsansprüchen in Konkurrenz, wie der Lebens- und Futtermittelproduktion, den Landschafts- und Naturschutzflächen und dem Flächenbedarf für Siedlung, Erholung und Verkehr. Ein besonderer Gesichtspunkt des Flächennutzungswandels durch einen zunehmenden Energiepflanzenanbau ist die Entwicklung der betroffenen Böden, insbesondere ihres Humusgehaltes, der Biodiversität und des Erodibilitätspotenzials. Insbesondere der Humusgehalt und die damit verbundene biologische Aktivität sind zentrale Steuerungsgrößen für die C-Sequestrierung in Böden. Angesichts steigender Kohlendioxid-Konzentrationen in der Atmosphäre wird nach Möglichkeiten gesucht, CO₂ in Böden für längere Zeiträume festzulegen. Es ist bislang ungeklärt, ob und in wie fern durch den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen/Energiepflanzen eine Kohlenstoff-Festlegung in unterschiedlichen Böden möglich ist. Zu diesem Zweck soll die C-Dynamik im Boden unter verschiedenen Energiepflanzen mit Hilfe der natürlichen ¹³C-Abundanz untersucht werden. Das Forschungsprojekt widmet sich darüber hinaus verstärkt den Wirkungen des Anbaus von Nachwachsenden Rohstoffen auf die Biodiversität ausgewählter Bodenorganismen.

Genaustausch und Konnektivität von Lumbricidenpopulationen in Abhängigkeit von der Landnutzung

Im Rahmen des Teilprojektes der Forschungsinitiative Rheinland-Pfalz wird untersucht, welche Effekte der Flächennutzungswandel durch verstärkten Anbau von Energiepflanzen auf

ausgewählte Tierarten (Lumbricidae) auf verschiedenen Skalenebenen haben wird. Zur Beurteilung der Landschaftspermeabilität werden modernste direkte und indirekte Methoden angewandt, zum Beispiel die Genotypisierung von Individuen mit hochauflösenden genetischen Markersystemen (insb. Mikrosatelliten) sowie die daraus resultierende Schätzung des Genaustausches zwischen Populationen in Abhängigkeit von isolierenden Landschaftsstrukturen. Es ist zu erwarten, dass verschiedene Arten und Artengemeinschaften aufgrund ihrer Biotopbindungsmuster unterschiedlich auf die sich ändernde Komplexität von Umweltsystemen reagieren. Basierend auf detaillierte Kartierungen werden durch populationsökologische und genetische Methoden Habitat spezifische Parameter für wenig mobile Arten (Lumbriciden) ermittelt, welche im Rahmen von Populationsgefährdungsanalysen zur Ableitung der Habitattyp spezifischen Konnektivität einer Modelllandschaft herangezogen werden.

Forschungsprojekte im Berichtszeitraum 2018-2019:

Verbundprojekt „EiFer: Energieeffizienz durch intelligente Fernwärmenetze“

Prof. Dr. Nicole Marheineke, Mathematik, Prof. Dr. Martin Schmitt, Mathematik

Förderer: Bundesministerium für Bildung und Forschung

Laufzeit: 2018 - 2020

Die Energiewende in Deutschland hat das Ziel, eine sichere, wirtschaftliche und umweltfreundliche Energieversorgung zu garantieren. Als besonders relevant gelten hier Energienetze und -speicher. Die zunehmende Einspeisung von regenerativ erzeugter Energie in das Stromnetz hat zur Folge, dass die Strompreise im Mittel zwar fallen, aber einer viel stärkeren Schwankung unterliegen. Diese hohe Volatilität im Stromnetz bereitet sowohl den Stromproduzenten als auch -konsumenten große Probleme, wobei kommunale Energieversorger besonders betroffen sind.

Im Verbundprojekt EiFer soll ein gekoppeltes Fernwärme-Stromnetz durch ein hierarchisches port-Hamiltonisches Systemmodell beschrieben und zur Nutzung als dynamischer Energiespeicher ausgelegt werden. Dazu ist die Entwicklung effizienter Simulations-, Regelungs- und Optimierungsmethoden notwendig.

Teilprojekt: „Entwicklung und numerische Umsetzung von Modellhierarchien“

Prof. Dr. Nicole Marheineke

Ziel des Teilprojektes ist die Herleitung und Analyse von Modellhierarchien für eine stabile und schnelle Simulation der Fernwärme-Stromnetze, die effizient für die Optimierung, die modellprädiktive Regelung und die Parameteridentifikation genutzt werden kann.

Teilprojekt „Adaptive Verfahren zur Optimierung gekoppelter pH-Systeme“

Prof. Dr. Martin Schmidt

Ziel des Teilprojektes ist die Entwicklung und Analyse von adaptiven Optimierungsalgorithmen zur effizienten und realitätsgetreuen Optimierung des Betriebs von Fernwärmenetzen.

Weitere Verbundpartner sind die TU Berlin, die FAU Erlangen-Nürnberg, das Fraunhofer ITWM, sowie die Technische Werke Ludwigshafen.

Verbundprojekt „GIVEN: Formoptimierung für Gasturbinen in volatilen Energienetzen, Teilprojekt: Aerodynamische Formoptimierung“

Prof. Dr. Volker Schulz, Mathematik; Förderer: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Laufzeit: 2018 - 2020

Gasturbinen erfüllen in Zukunft die Rolle, Energienetze mit stark variabler Energiezufuhr aus erneuerbaren Energiequellen zu stabilisieren. Die daraus resultierende Betriebsweise mit häufigen Start- und Abfahrvorgängen, sowie Partload-Betrieb stellt neue Herausforderungen an das Design von Gasturbinenkomponenten. Das Forschungsprojekt GIVEN entwickelt modernste mathematische Methoden für den Auslegungsprozess von hoch effizienten und flexiblen Gasturbinen der Zukunft, die einen wichtigen Beitrag zur Energiewende liefern. Optimierte Zuverlässigkeit und Effizienz für verschiedene Betriebspunkte mit multikriterieller Optimierung auf Basis von Formgradienten und (geschätzten) Formhessematrizen. Beim Formgradienten wird die Reaktion einer jeden, für das Design relevanten Zielgröße, auf eine Veränderung der Form berechnet. Diese werden mit adjungierten Methoden hocheffizient implementiert. Die zu Grunde liegende multiphysikalische Simulationskette koppelt dabei sechs verschiedene physikalische Phänomene (Materialschädigung, Aerodynamik, Wärmeleitung, Strukturmechanik, laminarer und turbulenter Wärmeübergang). Bei der multikriteriellen Optimierung werden einerseits Verfahren verwendet, die alle Zielgrößen gleichzeitig ver-

bessern (Abstiegsverfahren) andererseits auch Verfahren, welche Gewinne und Verluste zwischen verschiedenen Zielgrößen in Relation setzen (Exploration der Paretofront).

Fünf mathematische Arbeitsgruppen mit unterschiedlichen Kompetenzen von der Bergischen Universität Wuppertal, der Universität Trier haben sich für diese Herausforderung zusammengeschlossen. Mit Siemens Energy und Siemens CT sind weltweit führende Abteilungen des Gasturbinen FuE in das Projekt eingebunden. Ebenfalls wird das Projekt fachlich unterstützt vom DLR Köln, Institut für Strahltriebwerke, sowie vom Lehrstuhl für Werkstoffkunde der TU Kaiserslautern.

Verbundprojekt „MathEnergy — Mathematische Schlüsseltechniken für Energienetze im Wandel, Teilprojekt: Analyse und Anwendung reduzierter Modelle

Prof. Dr. Nicole Marheineke, Mathematik; Förderer: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Laufzeit: 2016 - 2021

Für eine nachhaltige und CO₂-neutrale Energieversorgung muss der gesamte Energiekreislauf in Strom-, Gas- und Wärmenetzen betrachtet werden. Um Netzauslastung bzw. -ausbau versorgungssicher und effizient zu gestalten, sollten Angebot und Bedarf abgeglichen sowie Flexibilität zwischen Energieträgern und durch Speicherung genutzt werden. Dies erfordert sowohl vertikale Kommunikation zwischen den Netzebenen als auch horizontale zwischen den Energieträgern. Trotz rasanter Fortschritte in Hard- und Software ist die Energiewirtschaft für die übergeordneten Monitoring- und Regelungsaufgaben sowie den Daten- und Modellaustausch unzureichend gerüstet.

Der Verbund MathEnergy zielt auf die Entwicklung einer Software-Bibliothek für hierarchische, parametrische, nichtlineare, geschaltete und dynamische Netzmodelle mit stochastisch variierenden Einflussgrößen und Workflows zur integrierten Simulation und Analyse von netzübergreifenden Szenarien der Energieversorgung mit Strom und Gas. Es werden netzübergreifende zeitabhängige Modelle und modellbasierte Monitoring-, Regelungs- und Bewertungskonzepte für den Planungsbereich und Vorbereitungen für den Betrieb erarbeitet, was eine Herausforderung an die Etablierung neuer Modellreduktionstechniken und die Abschätzung von Unsicherheiten darstellt.

Das Kernziel dieses mathematisch orientierten Teilvorhabens ist die Methodenentwicklung und Analyse reduzierter Modelle bzw. Modellhierarchien und ihrer Anwendung zur dynamischen Zustandsschätzung in einer modellprädiktiven Regelung.

Weitere Verbundpartner sind das Fraunhofer SCAI, das Fraunhofer ITWM, das Max-Planck-Institut Magdeburg, die TU Berlin, die TU Dortmund, die HU Berlin sowie die PSI AG.

Grenzüberschreitendes „Smart Light Hub, for a deLIGHTed future“

Dr. Manuel Seeger/Dr. Jesus Rodrigo Comino, Physische Geographie; Dr. Christel Egner-Duppich/Stephan Seeling, Transferstelle; Förderer: Europäische Kommission, Programm Interreg VA Großregion; Laufzeit: 2019 - 2021

In dem grenzübergreifenden Interreg.Projekt "Smart Light Hub" untersuchen Wissenschaftler die ökologischen, gesundheitlichen sowie kulturellen und sozioökonomischen Auswirkungen der Lichtverschmutzung aber auch die Ursachen für die zunehmende Beleuchtung der Nacht. Auf Grundlage der Forschungsergebnisse aus dem Projekt werden Lösungsansätze für moderne Beleuchtungskonzepte und nachhaltige Techniken entwickelt.

Ziel der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit in der Großregion ist es einen neuheitlichen Ansatz im Bereich der Beleuchtungssysteme für öffentliche und privat genutzte Räume zu definieren, der Ökosysteme schützt und gleichzeitig wirtschaftlich rentabel ist.

Partner im Projekt sind neben der Universität Trier die Universität Liège (Belgien), der Verein natagora in Namur, Liège und Brüssel (Belgien) und das Territoire Naturel Transfrontalier (Luxembourg).

HOCHSCHULE TRIER

Die Hochschule Trier hat in ihrem 2019 verabschiedeten Hochschulentwicklungsplan 2020-2025 die Etablierung eines ganzheitlichen Ansatzes zur nachhaltigen Entwicklung beschlossen, der Lehre, Forschung, Transfer, Betrieb und Governance einschließt. Zahlreiche Initiativen an der Hochschule Trier beschäftigen sich dahingehend mit der nachhaltigen Entwicklung allgemein und mit der Energieforschung im engeren Sinne. So erhielt der Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier 2018 erneut eine Auszeichnung beim „UI Green-

Metric World University Ranking 2018“ der Universitas Indonesia: Zum zweiten Mal hat es der **Umwelt-Campus Birkenfeld** unter die weltweit zehn „grünsten“ Hochschulen geschafft. Von Platz 10 des Vorjahres im weltweiten Ranking umweltschonender Hochschulstandorte verbesserte er sich auf den 6. Platz. Am Wettbewerb 2018 nahmen 719 Universitäten aus 81 Ländern teil. Alle deutschen Konkurrenten, darunter die Universität Bayreuth sowie die Freie Universität Berlin (weltweit Platz 28 und 29), konnte der Umwelt-Campus hinter sich lassen und belegte Platz 1 in Deutschland. 2019 lag die „grünste Hochschule Deutschlands“ abermals in Rheinland-Pfalz – der Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier belegte im GreenMetric-Ranking unter 780 Universitäten erneut den 6. Platz und blieb national im dritten Jahr auf Platz 1. Der Umwelt-Campus Birkenfeld konnte sich im Vergleich zum Vorjahr um weitere 275 Punkte verbessern und den Punktabstand zum Spitzenreiter deutlich verkürzen. Seit 2010 werden Universitäten auf der ganzen Welt in Sachen Nachhaltigkeit bewertet und eingestuft. Für die Bewertung werden sechs Indikatoren mit unterschiedlicher Gewichtung herangezogen: Neben Infrastruktur, Energie und Klimaschutz werden das Abfallmanagement, der Umgang mit Wasser und Abwasser, nachhaltige Mobilität und natürlich die nachhaltige Lehre und Forschung genau analysiert und beurteilt.

Am **Hauptcampus der Hochschule** in Trier beschäftigt sich die Fachrichtung Gebäude-, Versorgungs- und Energietechnik (GVE) des Fachbereichs Bauen + Leben ausdrücklich mit der Energieforschung und bietet zahlreiche Projekte zum Thema Energieeffizienz, Energieeinsparung und Wirtschaftlichkeit sowie zum Einsatz neuer Technologien. Die Projekte sind einerseits zur Ausbildung der Studierenden in Form von Laborübungen aufgebaut, aber zum anderen auch als Kooperation mit Firmen angedacht.

Hochschulweit werden die Aktivitäten zur Energieforschung an der Hochschule Trier zudem im Wesentlichen in zwei Forschungsschwerpunkten gebündelt:

Der **Forschungsschwerpunkt Angewandtes Stoffstrommanagement** beschäftigt sich mit dem intelligenten und ressourceneffizienten Management von Stoff- und Energieströmen. **Der Forschungsschwerpunkt Intelligente Technologien für Nachhaltige Entwicklung** gliedert sich wiederum in vier Arbeitsfelder: Informationssysteme für eine nachhaltige Entwicklung (ISNE), Energieeffiziente Systeme (EES), Umweltgerechte Produktionsverfahren (UVP) und Konzepte für die Mobilität der Zukunft (MOZ). Die Kompetenzen der einzelnen Arbeitsfelder des Forschungsschwerpunktes tragen in interdisziplinärer Zusammenarbeit zur gemeinsamen Erarbeitung innovativer ressourceneffizienter Technologien und Verfahren zur nachhaltigen Entwicklung bei. In diesen beiden Forschungsschwerpunkten und darüber hin-

aus sind mehrere Institute der Hochschule Trier im Bereich Energieforschung tätig und erforschen gemeinsam mit Partnern aus der Wirtschaft, der Wissenschaft und der Gesellschaft Lösungen für die Energieversorgung von morgen:

Institut für Angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS)

Den Forschungsschwerpunkt „Angewandtes Stoffstrommanagement“ der Hochschule Trier bildet im Wesentlichen das Institut für Angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS). Im deutschlandweiten Vergleich gehört das IfaS zu den drittmittelstärksten In-Instituten an Fachhochschulen. Es ist am Umwelt-Campus in Birkenfeld angesiedelt, wo sich derzeit über 50 Mitarbeiter des Instituts mit dem intelligenten und ressourceneffizienten Management von Stoff- und Energieströmen beschäftigen. Im Bereich „Energieeffizienz und Erneuerbare Energien“ beschäftigt sich das IfaS seit 2002 mit Energieforschung und -beratung sowie der Erstellung von Energiegutachten und Energiekonzepten für ministeriale Auftraggeber, kommunale Träger und für gewerbliche und industrielle Unternehmen unterschiedlichster Branchen im In- und Ausland. Alleine im Zeitraum 2014 bis 2018 hat das IfaS rund 185 Projekte mit Akteuren aus Rheinland-Pfalz durchgeführt. Das Angebotsspektrum umfasst sowohl die Ist-Analyse von Gebäuden und technischer Infrastruktur zur Energiebereitstellung und -verteilung als auch die Entwicklung von Maßnahmenvorschlägen für Effizienzmaßnahmen an der Gebäudehülle (DIN 18599 Berechnungen und Energieausweise), für Effizienztechnologie (z. B. BHKW, Hocheffizienzpumpen, Wärmerückgewinnung, Druckluftanlagen, Kühlung, Dampferzeugung) und für den Einsatz Erneuerbarer Energieträger im Gebäude- und im Großanlagenbereich (Windenergie, Biogasanlagen, Geothermie, Wasserkraft, Umweltwärme, Solarstrom- und Wärmeanlagen, Holzhackschnitzelanlagen und Kraftwerke, Nahwärmeverbünde, usw.). Im Rahmen der Konzepterstellung/Energieberatung/Machbarkeitsuntersuchung erfolgen jeweils eine technisch fundierte und wirtschaftlich aussagekräftige Bewertung aller identifizierten Maßnahmen sowie ein Vergleich verschiedener Handlungsalternativen.

Weitere Tätigkeitsfelder liegen in der Beratung zu Förderung, Finanzierung und Mikrofinanzierung sowie zu genossenschaftlichen Teilhabemodellen. Da Energiespeichertechnologien für Strom und Wärme eine immer stärkere Rolle einnehmen, werden auch Potenzialanalysen und Machbarkeitsstudien für die Kopplung von Energieanlagen mit Speichersystemen durch das IfaS erstellt. Sowohl chemisch als auch physikalisch wirkende Strom- und Wärmespeicher sind hier von Relevanz. Im Stromsektor sind dies vor allem Windgas-Methanherzeugung,

Batterie-, Pump-, Schwungrad- und Druckluftspeicher etc. Im Wärmesektor liegen die Schwerpunkte in der Integration von Sorptionsspeichern, mobilen Wärmespeichersystemen auf Basis von Latentwärmespeichern sowie großen Wasserspeichern für die Solarenergienutzung und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Fernwärmesystemen. Im Gebäudesektor sind Speichersysteme zur passiven Sonnenenergienutzung (transparente Wärmedämmung) Gegenstand von Untersuchungen. Darüber hinaus bilden seit dem Jahr 2008 integrierte Klimaschutz- und Null-Emissionskonzepte auf Ebene von Regionen, Landkreisen, Städten und Gemeinden einen weiteren Tätigkeitsschwerpunkt. Im Rahmen der Vertiefung dieser übergreifenden Fragestellungen, bietet das IfaS die Bearbeitung aller derzeit von der Bundesregierung geförderten Schwerpunkte (strategisch und investiv) im Rahmen der nationalen Klimaschutzinitiative an.

Insbesondere in den Bereichen Teilkonzepte zur Wärmenutzung, Teilkonzepte für kommunale Liegenschaften und Teilkonzepte Erneuerbare Energien liegen bereits umfangreiche Erfahrungen und Referenzen vor. Beispielhaft sollen hier die Klimaschutzkonzepte der Städte Kaiserslautern, Frankenthal, Bingen, Pirmasens und Bad Neuenahr-Ahrweiler genannt sein. Auf Landkreisebene sind zu nennen die Klimaschutzkonzepte der Landkreise Mainz-Bingen, Alzey-Worms, Bad Kreuznach und des Landkreises Cochem-Zell oder die der Verbandsgemeinden Nieder-Olm und Sprendlingen-Gensingen. Ein immer stärker nachgefragtes Tätigkeitsfeld des Instituts ist die intensive Akteursarbeit durch Veranstaltungen und Workshops, welche sowohl zielgruppenorientiert, als auch themenorientiert angeboten werden.

Ausgewähltes Projektbeispiel: Roadshow Nachhaltige Entwicklung

Um die Zukunftsfähigkeit in Kommunen sicherzustellen, ist ein nachhaltiges Handeln unerlässlich. Hierfür müssen innovative Wege beschritten werden, welche die wirtschaftliche Situation der Kommunen langfristig verbessert. Das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) vom Umwelt-Campus Birkenfeld wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) damit beauftragt, im Rahmen der „Roadshow Nachhaltige Entwicklung“, bundesweit Kommunen über die Ergebnisse der FONA-Forschung zu informieren. Thematischer Fokus bilden die Themenfelder Land- und Flächennutzung, Wasserwirtschaft und Energieversorgung. Die vorgestellten Lösungsansätze wurden von Forschenden gemeinsam mit Partnern aus Kommunen und Wirtschaft entwickelt und erprobt. Auf dieser Grundlage können Kommunen ein Nachhaltigkeitsmanagement bilden, mit dem neue Wirt-

schaftsmodelle, zusätzliche Arbeitsplätze und eine nachhaltige Zukunft möglich werden. In insgesamt sechs deutschlandweiten Veranstaltungen erhielten rund 200 Kommunalvertreterinnen und Kommunalvertreter Informationen über Ergebnisse der FONA-Forschung. Anschließend begannen 27 ausgewählte Modellkommunen gemeinsam mit dem IfaS die praktische Anwendung von Produkten der FONA-Forschung im Rahmen eines ca. einjährigen Nachhaltigkeits-Coachings. Zunächst werden die maßgeblichen ökonomischen, ökologischen und sozialen Strukturen sowie geplante Entwicklungen, in Bezug auf die betrachteten Themenschwerpunkte, in enger Abstimmung mit kommunalen Entscheidungsträgern analysiert. Nach Identifizierung möglicher Lösungsansätze werden gemeinsam mit den Kommunen Handlungsansätze festgelegt, die im weiteren Verlauf zu umsetzungsfähigen Projekten vertieft werden. Die ausgewählten Projektansätze werden mittels Projektskizzen detaillierter beschrieben. Dies umfasst eine argumentative Plausibilitätsprüfung hinsichtlich der Umsetzbarkeit sowie Angaben zu erforderlichen Infrastrukturen, Techniken und Akteuren. Eine erste Abschätzung der Wirtschaftlichkeit sowie regionaler Wertschöpfungseffekte erfolgen ebenfalls. Die Ergebnisse werden als Handlungsempfehlung soweit ausformuliert, dass diese den Kommunen als Grundlage für einen Gremien-/Ratsbeschluss zur Umsetzung des Vorhabens dienen. Weiterhin wurde mit „Take17“ (www.take17.de) ein bundesweiter Filmwettbewerb ausgerufen, bei dem die Generation Zukunft zu Wort gekommen ist. Aufgefordert wurden 14- bis 29-Jährige, Kurzfilme rund um die 17 Nachhaltigkeitsziele der Agenda 2030 zu produzieren und ihre Sichtweise auf dieses vielschichtige Thema, auf kreative Weise festzuhalten.

Laufzeit: März 2017 - Dezember 2020, gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA³)

Ausgewähltes Projektbeispiel: Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff - Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern – Integrierte Konzepte, innovative Technologien und sozialwissenschaftliche Forschung im Leuchtturm für klimaneutrale Quartiere

Das übergeordnete Ziel des Verbundvorhabens ist es, einen Beitrag zur Energiewende und Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung zu leisten, indem Konzepte für eine zielgerichtete Entwicklung des Pfaff-Quartiers bis zum klimaneutralen Endausbau im Jahr 2029 erforscht und entwickelt werden. Hierzu wird das Pfaff-Quartier, das die Stadt Kaiserslautern auf dem ehemaligen Werksgelände der Nähmaschinenfabrik Pfaff zu einem klimaneutrales Wohn-, Gewerbe- und Technologiequartier entwickelt, als Reallabor konzipiert.

Das ehemalige Pfaff-Werksgebiet diente ca. 150 Jahre lang als Produktionsstandort für Nähmaschinen. Nun soll das Gelände umfunktioniert werden. Im Verbundvorhaben „En-Stadt: Pfaff“ erfolgt während der Projektlaufzeit bis zum Jahr 2022 die Entwicklung, Erforschung und Demonstration innovativer Planungswerkzeuge und Technologien. Die Forschungsfelder umfassen die Bereiche Energie, Gebäude, Mobilität, Informations- und Kommunikations-Technologie (IKT) und Soziales. Das Verbundvorhaben sieht eine zielgerichtete Entwicklung des Quartiers, bis hin zum klimaneutralen Endausbau im Jahr 2029 vor. Das Projekt ist aufgeteilt in 28 Arbeitspakete, 18 davon mit Beteiligung sowie acht unter der Leitung des IfaS.

Konsortium: Stadt Kaiserslautern, Stadtwerke Kaiserslautern, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IESE, Hochschule Kaiserslautern, Hochschule Fresenius, Palatina Wohnbau GmbH, PFAFF-Areal Entwicklungsgesellschaft mbH (PEG), Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) der Hochschule Trier, Laufzeit: 2017 – 2022, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Ausgewähltes Projektbeispiel: LoSENS - Lokale nachhaltige Energiesysteme in Senegal

Im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts hat der Senegal, wie andere Länder in Sub-Sahara-Afrika, eine schwere Energiekrise durchlaufen. Seitdem ist die Vision des Senegal, Energie im ganzen Land verfügbar zu machen und gleichzeitig soziale und ökologische Faktoren zu berücksichtigen. Der hierzu entwickelte „Plan Sénégal Emergent“ sieht eine Steigerung der Energieproduktion und Elektrifizierung sowie die Verminderung der Energieimportabhängigkeit von fossilen Energieträgern vor. Dabei steht die Förderung von Erneuerbaren Energien im Fokus. Die von Senegal angestrebten Zielsetzungen im Energiesektor bergen ein hohes unternehmerisches Potenzial und bringen eine Vielzahl von Geschäftschancen für die deutsche Umwelttechnikbranche. LoSENS hat zum Ziel, Kooperationen im Bereich nachhaltiger Energiesysteme zwischen Senegal und Deutschland zu entwickeln und zu verstetigen. Dabei liegt der Fokus auf dem Austausch von angewandtem technischem Wissen und Technologietransfer zur Unterstützung von politischen Maßnahmen im Bereich Energieeffizienz und Erneuerbare Energien. Die Entwicklung von Masterplänen in Saint-Louis und Balinghore dient zur Identifizierung konkreter Handlungsbedarfe sowie der Umsetzung von passgenauen Lösungen basierend auf dem Transfer nachhaltiger deutscher Technologien und Energie-

systemlösungen. Der LoSENS Ansatz umfasst Aktivitäten auf drei verschiedenen Ebenen. Auf der ersten Ebene wird ein Masterplan erarbeitet, der den derzeitigen Zustand im Bereich der Energieerzeugung und -Nutzung (Energiesenken) erfasst, Energieströme und Potenziale bestimmt und evaluiert. Auf der zweiten Ebene werden vier Pilotprojekte für nachhaltige Energiekonzepte entwickelt, umgesetzt und gemonitort. Auf der dritten Ebene findet ein Capacity Building der lokalen Stakeholder statt. In einem zweistufigen Prozess erfolgt die Entwicklung und Umsetzung von Schulungen und Weiterbildungsmaßnahmen, basierend auf dem Train-the-Trainer-Prinzip. Durch Optimierung von energetischen Systemen kann Geld eingespart werden, welches für die Finanzierung von Effizienz- und erneuerbaren Energietechnologien eingesetzt werden kann. Hieraus erschließen sich für Kommunen, Unternehmen und Bürger neue Geschäftsfelder im Bereich Erneuerbare Energien und Energieeffizienz. Im Ergebnis wird ein Investitions- und Businessplan für die Umsetzung eines kommunalen Energieversorgungsdienstleisters erarbeitet.

Konsortium: KLE Energie GmbH, Kocks Consult GmbH, Lanz Manufaktur Germany GmbH, greentec-service GmbH, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Institute for International Research on Sustainable Management and Renewable Energy (ISR), Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) der Hochschule Trier, Laufzeit: April 2019 - März 2022, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Programm Client II - Internationale Partnerschaften für nachhaltige Innovationen

Institut für Softwaresysteme in Wirtschaft, Umwelt und Verwaltung (ISS)

Innerhalb des Forschungsschwerpunkts Intelligente Technologien für Nachhaltige Entwicklung widmet sich das Institut für Softwaresysteme in Wirtschaft, Umwelt und Verwaltung (ISS) den Informationssystemen für eine nachhaltige Entwicklung. Im Mittelpunkt der Forschung des ISS steht eine an Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz ausgerichtete Entwicklung und Anwendung der Informationstechnik. Das ISS gehört damit bundesweit zu den wenigen Forschungseinrichtungen, die sich aus Perspektive der Informatik mit Fragestellungen einer nachhaltigen Entwicklung und des Umweltschutzes auseinandersetzen. Die Mitglieder des Instituts verfügen über langjährige und tiefgehende Erfahrungen und Kenntnisse in der Leitung und Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten in der Informatik und stehen als kompetente Kooperationspartner für anwendungsnahe Forschungsvorhaben zur Verfügung. Die Forschung ist durch einen starken Anwendungs- und Praxisbezug geprägt

und liegt im Bereich der Ingenieurs-, Umwelt- und Wirtschaftsinformatik. Es wird erforscht, wie innovative IT-Lösungen zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen können und welche Auswirkungen die IT auf Mensch, Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft hat. Die Arbeiten werden durch Fördergelder aus öffentlichen Förderprogrammen des Bundes und des Landes finanziert. In der Projektdurchführung arbeitet das Institut mit öffentlichen Projektträgern und auch anderen Forschungseinrichtungen und Universitäten zusammen. Die Forschungsergebnisse werden auf nationalen und internationalen wissenschaftlichen Konferenzen vorgestellt. Zudem werden regelmäßig Fachtagungen und Workshops veranstaltet, um über aktuelle Trends zu informieren.

Ausgewähltes Projektbeispiel: Greater Green

GREATER GREEN ist das am Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier koordinierte Meta-Cluster der Umwelttechnik in der Großregion. Regionale Cluster und Forschungseinrichtungen arbeiten zusammen um Informationen über moderne Absatzmöglichkeiten auszutauschen und neue gemeinsame Projekte zu konzipieren. Explizit steht dabei die Schaffung von neuen Marktzugängen im Mittelpunkt der Bemühungen. Dies geschieht durch eine gezielte gemeinsame Vermarktung der Großregion als Umwelttechnik-Kompetenz-Region. GREATER GREEN agiert als Meta-Cluster in direkter Form mit den Regional-Koordinatoren und den im Netzwerk angeschlossenen Mitglieds-Clustern. Die Angebote dieser Cluster auch über die Grenzen hinweg bekannt zu machen, ist ein positiver Nebeneffekt von GREATER GREEN. Um die Sichtbarkeit der Umwelttechnik in der Großregion zu steigern, ist GREATER GREEN auf Messen (wie zum Beispiel das World Efficiency Forum in Paris oder die IFAT in München) präsent und veranstaltet GREATER GREEN Days (im Rahmen der Green Win Konferenz „Grüne Chemie und Weiße Biotechnologie“). Außerdem werden eigene Veranstaltungen zu den Kernthemen der Umwelttechnik Wasser- und Abwasserwirtschaft, Nachhaltiges Bauen, Erneuerbare Energien sowie Kreislaufwirtschaft und Recycling durchgeführt. Im Rahmen von GREATER GREEN soll daher die Umwelttechnikbranche zukünftig grenzüberschreitend weiterentwickelt werden. Im Oktober 2018 fand so in Kooperation mit der QuattroPole (dem grenzüberschreitenden Netzwerk der Städte Luxemburg, Metz, Saarbrücken und Trier), dem Interreg-Projekt GReNEFF, dem LIFE-Projekt ZENAPA und den Stadtwerken Trier eine Konferenz in Trier statt. Unter dem Motto Quartiere nachhaltig planen, bauen und bewirtschaften – Ideen, Konzepte und Umsetzungen in der Großregion

diskutierten rund 160 Fachleute aus der gesamten Großregion über das „Cradle to cradle“-Prinzip und Kriterien für nachhaltiges Bauen.

Konsortium: Hochschule Trier (Umwelt-Campus Birkenfeld), Luxinnovation GIE, Région Grand Est, Grand-E-Nov, Hydreos, Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Wallonische Agentur für Export und Auslandsinvestitionen, Laufzeit: Oktober 2016 - Dezember 2020. gefördert durch die Europäische Union aus dem Fonds für Regionale Entwicklung im Programm Interreg V A Großregion und dem Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz

Ausgewähltes Projektbeispiel: APEROL - Autonome, personenbezogene Organisation des Straßenverkehrs und digitale Logistik

Der Transport von Menschen und Gütern ist eine der wichtigsten Komponenten der deutschen Wirtschaft. Derzeit erleben wir den Wandel vom traditionellen Verkehr hin zum autonomen Fahren. Dieser Wandel wird die Mobilitätsgewohnheiten der Bürger vollkommen verändern. Damit dieser ein Erfolg wird, müssen neue innerurbane Mobilitätskonzepte erarbeitet werden, welche die neuartigen digitalen Dienste in das städtische Leben integrieren. Ebenso muss ein gesellschaftlicher Transformationsprozess beschritten werden: Insbesondere bei der Einführung neuartiger Technologien ist das Innovationsmanagement zentral und hat das Ziel, die Bürger von Anfang an in den Transformationsprozess einzubinden. Ziel des Forschungsprojektes APEROL ist ein Pilotbetrieb automatisierter, elektrisch fahrender Fahrzeuge im Straßenverkehr und dessen Integration in ein übergreifendes Mobilitätssystem. Auf Basis einer umfassenden Software-Unterstützung, die sowohl Bürgerinnen und Bürgern als auch Unternehmen passgenaue Mobilitäts- und Transportdienste anbietet, wird der dafür notwendige Ressourceneinsatz optimiert. Die Durchführung des Projektes unterteilt sich schwerpunktmäßig in drei Themenfelder: die Pilotierung, die Softwareentwicklung und der Projektdialog. Der Pilotbetrieb von autonomen Fahrzeugen erfolgt im Projekt sowohl auf Teststrecken als auch sukzessive im realen Stadtverkehr. Diese Pilotierung wird mit einem Fahrzeug auf Basis der Plattform des automatisierten Kleinbusses e.GO Mover durchgeführt. Das zweite große Themengebiet ist die Softwareentwicklung. Neben der Entwicklung intuitiv zu bedienender Apps für Bürgerinnen und Bürger sowie der Bereitstellung logistischer Software für Unternehmen liegt der Schwerpunkt vor allem auf der Entwicklung von Algorithmen zur optimalen Disposition und Routenplanung der eingesetzten Ressourcen. Im dritten

Hauptthemengebiet des Dialoges stehen die Außenkommunikation des Projektes und der resultierende Austausch im Fokus. Als neues Technologiefeld ist es für die Anwendungen des automatisierten Fahrens essentiell, bereits von Anfang an mit Bürgerinnen und Bürgern sowie Unternehmen in einen Dialog zu treten. So wird die Transformation vom konventionellen zum automatisierten Straßenverkehr für alle Beteiligten zum Erfolg.

Konsortium: PSI Logistics GmbH, RWTH Aachen, Hochschule Trier (Umwelt-Campus Birkenfeld), Stadt Aachen, e.GO Mobile AG, MAT.TRAFFIC GmbH, Ergosign GmbH, assoziierte Projektpartner: Expertengruppe Internet der Dinge des nationalen Digital-Gipfels, Stadt Trier, Laufzeit: Oktober 2018 - Dezember 2020, gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur im Rahmen der Förderrichtlinie "Automatisiertes und vernetztes Fahren"

Kompetenzzentrum Brennstoffzelle RLP

Im Arbeitsfeld energieeffiziente Systeme forscht das Kompetenzzentrum Brennstoffzelle Rheinland-Pfalz/Fuel Cell Centre Rheinland-Pfalz (FCCRP). In seinen internationalen und nationalen Projekten legt das Zentrum den Schwerpunkt seiner Arbeit mit Partnern aus der Wissenschaft und Industrie auf Brennstoffzellen, Brennstoffzellen-Komponenten und vollständige Systeme.

Ausgewähltes Projektbeispiel: VEHICLE

Das grenzüberschreitende Projekt VEHICLE entwickelt Lösungsansätze, um die technischen Beschränkungen gängiger rein elektrischer oder Plug-In-Hybridfahrzeuge zu überwinden. Schwachpunkt bei diesen ist das Batteriesystem, v.a. aufgrund langer Ladezeiten und des begrenzten Energiegehalts, aber auch die vorzeitige Alterung aufgrund hoher Lade-/Entladedynamik. Ein Lösungsansatz besteht in der Kombination komplementärer Speichertechniken zu einem Hybrid-Speichersystem bestehend aus Lithium-Ionen-Akku und Superkondensator. Dessen Betrieb erfordert den Einsatz eines Energiemanagementsystems. Im Rahmen des Projekts soll ein solches System unter Verwendung prädiktiver Algorithmen entwickelt werden, mit dessen Hilfe beispielhaft für ein Fahrzeug Aussagen zu Dimensionierung, Lebensdauer und Gesamtbetriebskosten getroffen und entsprechende Optimierungen

vorgenommen werden können. Hierzu wird auf Basis experimenteller Arbeiten am Umwelt-Campus Birkenfeld ("Batteriediagnostik") auch ein deterministisches Modell für die Batteriealterung in Abhängigkeit vom Lastprofil entwickelt. VEHICLE wird im Rahmen der Wissenschaftsoffensive 2018 gefördert, einer Initiative der Europäischen Union und der französischen, deutschen und schweizerischen Gebietskörperschaften (Großregion Est, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und die nordwestlichen Kantone der Schweiz), die darauf abzielt, hervorragende Forschungsprojekte im Oberrheingebiet zu finanzieren.

Konsortium: INSA Strasbourg, Hochschule Trier (Umwelt-Campus Birkenfeld), Hochschule Karlsruhe, assoziierte Partner: Centrale Lille, Université de Nantes, Sheffield Hallam University, CCI Alsace Eurométropole, Laufzeit: Oktober 2019 – September 2022, gefördert durch den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung und die Länder Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und die Region Grand Est (im Programm Wissenschaftsoffensive 2018, Interreg V A Oberrhein)

Institut für Betriebs- und Technologiemanagement (IBT)

Im Arbeitsfeld Umweltgerechte Produktionsverfahren ist mit dem Institut für Betriebs- und Technologiemanagement (IBT) ein weiteres Institut der Hochschule Trier intensiv an der Energieforschung beteiligt. Das IBT mit Sitz am Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier bietet Industrie und Gewerbe Dienstleistungen in den Bereichen Energiesystemtechnik, Produktionsoptimierung, Konstruktionsautomatisierung und Messtechnik an. Eine moderne Infrastruktur und das Know-how aus verschiedenen Fachrichtungen gewährleistet die optimale Lösung technischer Aufgabenstellungen durch angewandte Forschung und Entwicklung. Die interdisziplinären Arbeitsgruppen verfügen sowohl fachlich als auch organisatorisch über tiefgehende Kenntnisse und Erfahrungen, die für eine zielführende und erfolgreiche Durchführung von anwendungsnahen Forschungsprojekten erforderlich sind. Die Schwerpunkte der Forschung liegen in der (regenerativen) Energietechnologie sowie in der Produktionstechnologie. Verbindendes Glied zwischen den beiden Themenfeldern ist die Energieeffizienz als Schnittstelle zwischen der Fertigung und der Energienutzung. Unternehmen und Kommunen nutzen diese Kompetenzen in der Beratung zum Einsatz erneuerbarer und hocheffizienter Energieerzeugungsanlagen und der Modellentwicklung. Dabei unterstützt das IBT seine Partner auch dabei, Fördermittel für die Umsetzung der Projekte zu identifizieren und einzuwerben. Darüber hinaus bietet das IBT Studierenden eine praxisnahe Ausbildung

in Bachelor- und Masterstudiengängen. Unternehmen profitieren von den Schulungs- und Weiterbildungskonzepten. Schließlich organisiert das Institut regelmäßig Fachkonferenzen zum Know-how-Austausch in der Energiesystemtechnik und Produktionstechnologie.

Ausgewähltes Projektbeispiel: PV-Ertragsstudie

Durch die Vielzahl an PV-Anlagen, die in Deutschland in den unterschiedlichsten Größenkategorien in den vergangenen Jahren errichtet wurden, ist der Bedarf an verlässlichen Kennzahlen zur Ertragsbewertung gestiegen. Besitzer und Betreiber von Photovoltaikanlagen benötigen Referenzwerte, um die Jahres- und Monatsstromproduktion ihrer Anlagen bewerten zu können, sodass daraus Rückschlüsse auf die Qualität der PV-Anlage gezogen werden können. Nur Anlagen, die während der Planungs- und Bauphase qualitativ hochwertig errichtet und seit Inbetriebnahme kontinuierlich in Bezug auf Service und Wartung betreut werden, können ihr technisches Potenzial voll ausschöpfen. Für Investoren und Betreiber von Photovoltaikanlagen steht in der langjährigen Betriebsphase daher die Frage im Fokus, ob ihre PV-Anlage den maximal möglichen Energieertrag erzielt oder ob es aufgrund von technischen Störungen zu Ertragsverlusten gekommen ist. Aus diesem Grund wurde am Institut für Betriebs- und Technologiemanagement die PV-Ertragsstudie initiiert, um Investoren und Betreibern von Photovoltaikanlagen eine solide Bewertungsgrundlage zu bieten, die Energieerträge ihrer PV-Anlage zu vergleichen und zu analysieren. Die Ertragsstudien liegen für den Zeitraum 2012 bis 2019 vor und werden jährlich fortgeführt.

Ausgewähltes Projektbeispiel: Energiemosaik Hunsrück-Hochwald (ENMOSA)

Das Projekt ENMOSA – Energiemosaik Hunsrück-Hochwald – wird für die Nationalparkregion Hunsrück-Hochwald ein dynamisches Werkzeug zur Analyse und Prognose der energetischen Nutzung der Sektoren Strom, Wärme und Transport entwickeln und bereitstellen. Ziel ist es, auf Grundlage der Energieverbrauchsdaten und Energieerzeugungssysteme ein Modell aufzubauen, aus dem Maßnahmen abgeleitet werden können, damit die Nationalparkregion langfristig die Dekarbonisierung der Energieversorgung erreicht und damit die Treibhausgasemissionen senkt. Durch die Aggregation aller energetisch relevanten Daten wird Transparenz beim Energiedatenmanagement in der Region geschaffen. Der modulare Aufbau des Simulationsmodells der Region ermöglicht flexiblen Wechsel der Darstellungs- und Analyseebenen von der gesamten Nationalparkregion bis zum Einzelobjekt. Die Normalisie-

Die Integration aller Beteiligten zu einer nachhaltigen Weiterentwicklung der Region. Die regionalen Strukturdaten (Katasterinformationen, Infrastruktur, statistische Angaben), Energieverbrauchsdaten der Sektoren Strom, Wärme und Transport, Angaben zu den Energieerzeugungssystemen sowie Potenzialflächen (z. B. Dachflächen für den Ausbau von Photovoltaik bzw. Solarthermie) werden zusammengestellt und in einer relationalen Datenbank abgelegt. Das dynamische Energiemodell greift auf diese Daten zu, um im Simulationskern die Energiedaten sowie die Entwicklungspotenziale zu verknüpfen, sodass die Energiebilanz, die Residuallasten sowie der Energiestrom berechnet werden können. An das Energiemodell schließt die Energiedatenanalyse an, um zum einen die energetischen Daten zu evaluieren und zu optimieren und des Weiteren die ausgewerteten Daten zu visualisieren. Die Ergebnisse der Datenanalyse werden in das Energiemodell zurückgespielt. Die Konzeptentwicklung vereint die Daten aus dem Energiemodell und der Analyse, um unterschiedliche Szenarien zu untersuchen und Entwicklungspfade zu prüfen. Auswirkungen aus der würt fließen in das Energiemodell zur iterativen Optimierung des Simulators zurück. Damit lassen sich Prognosen zur Sektorenkopplung entwickeln sowie Handlungsmaßnahmen ableiten. In das Energiemodell fließen zunächst die Angaben zur Energienutzung der Haushalte, des Gewerbes und der Industrie ein. Des Weiteren werden die Erzeugungsprofile der Energieerzeugungseinheiten, insbesondere Wind, Photovoltaik und Biomasse, integriert. Schließlich werden Nutzungsprofile des Transportwesens berücksichtigt. Ergänzt wird das Modell zu Netzkapazitäten in den Sektoren Strom und Wärme. Optional werden unterschiedliche Speicherarten (Strom, Wärme, Power-to-X) in das Modell eingebunden. In dem Simulator lassen sich die Profile, die Erzeugersysteme und die Verbrauchseinheiten parametrisieren, sodass eine umfassende Szenarioanalyse möglich ist.

Ausgewähltes Projektbeispiel: „Ressourceneffizientes Rapid Prototyping“ (RERAP)

Das Forschungsprojekt „Ressourceneffizientes Rapid Prototyping“ (RERAP) legt seinen Fokus auf die Untersuchung der Energie- und Ressourceneffizienz durch generative Fertigungsverfahren (3D-Druck). Hierbei werden innovative Produktionstechniken des gesamten Herstellungsprozesses von der Idee bis zum fertigen Bauteil durch die Hochschule Trier untersucht. Ein zentrales Ziel des Vorhabens ist der Kompetenzaufbau aus dem Vergleich kon-

ventioneller und generativer Fertigungsverfahren hinsichtlich der Energie- und Ressourceneffizienz und dem Einfluss der Effizienzoptimierung auf die Werkstückqualität. Dazu werden in der wissenschaftlichen Diskussion mit den Projektpartnern unterschiedliche Bauteile definiert, digital konstruiert und schließlich sowohl konventionell mit einer Werkzeugmaschine als auch generativ durch das Lasersinterverfahren (SLM) (d. h. dem dreidimensionalen Drucken von Werkstücken durch Aufschmelzen von Metallpulver mithilfe eines Lasers) mit einer SLM-Maschine gefertigt. Beide Verfahren werden in Bezug auf die spezifischen Eigenschaften des Bauteils miteinander aus Sicht des Energie- und Ressourceneinsatzes verglichen, um Rückschlüsse auf Grenzen und Potenziale der Fertigungsverfahren zur Effizienzsteigerung zu ziehen. Das Vorhaben hat des Weiteren das Ziel, allgemeingültige Regeln und Definitionen für die Optimierung von Produktionsprozessen aus Forschungsprojekten mit der SLM-Maschine abzuleiten, indem heterogene Produkt- und Produktionsprozesse auf ihr Effizienzsteigerungspotenzial in Bezug auf Energieverbrauch und Ressourceneinsatz analysiert und insbesondere durch die Integration generativer Fertigungsverfahren optimiert werden.

Laufzeit: November 2018 - April 2021, gefördert durch die Europäische Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Rahmen des Ziels "Investitionen in Wachstum und Beschäftigung" (IWB)

Institut für energieeffiziente Systeme IES

Das Institut für energieeffiziente Systeme IES am Hauptcampus der Hochschule Trier entwickelt unter anderem Konzepte für die Mobilität der Zukunft. Seit seiner Gründung im Jahr 2000 erforscht das IES Methoden und Verfahren für unterschiedlichen Anwendungsbereiche und setzt sie mit industriellen Partnern in die Praxis um. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Forschergruppen ermöglicht die Betrachtung eines sehr breiten Anwendungsfeldes von der Energiegewinnung und Verteilung, über Anwendungen in der industriellen Antriebstechnik bis hin zur optimalen Steuerung und Regelung von Elektrofahrzeugen mit entsprechenden Fahrerassistenzsystemen. Die Problemstellungen resultieren sowohl aus öffentlichen Forschungsprogrammen, als auch aus Anfragen aus der Industrie. Die Lösungen fast aller Aufgabenstellungen erfordern den Einsatz von Messelektronik zur Informationsgewinnung, Simulationsprogramme für die Modellbildung der Prozesse und moderne theoretische Methoden der Informationsverarbeitung (Digitale Signalverarbeitung, Steuerungs- und Regelungstechnik) für deren Optimierung. In vielen Fällen muss die Elektronik (Hard- und Soft-

ware) individuell entwickelt werden. Die sehr gut ausgestatteten Labore des Instituts ermöglichen die Entwicklung, den Aufbau und Test von Prototypensystemen für ein breites Anwendungsfeld. Das Institut begleitet industrielle Partner im Bereich der Elektronikentwicklung bei der Einführung neuer Produkte von der Forschungsphase bis zur Serienfertigung. Das Lehrangebot vermittelt den Studierenden interdisziplinäres Wissen auf aktuellem Stand. Die Studierenden haben die Möglichkeit, im Rahmen von Projekt- und Abschlussarbeiten in den Forschungsprojekten mitzuarbeiten. Sie können bereits im Studium ihr erlerntes Wissen in die Praxis umsetzen und frühzeitig Kontakte mit der Industrie knüpfen. Sie erwerben wertvolle Kompetenzen, die sowohl von regionalen, als auch überregionalen Unternehmen permanent stark nachgefragt werden.

Ausgewähltes Projektbeispiel: ASTERIX - Advanced Control Strategies for Electric Road Vehicles Using Car2x Information

Die Wandlung der Mobilität ist in vollem Gange und stellt die Automobilindustrie vor neue Herausforderungen. Das autonome Fahren sowie die Elektromobilität sind die Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts und stellen Industrie sowie Forschung vor neue Herausforderungen. Die Speicherung der Energie für ein Elektrofahrzeug ist aktuell das größte Problem für eine flächendeckende Einführung der Elektromobilität. Neben der Vergrößerung des Energiespeichers zur Steigerung der Reichweite bietet auch eine energieeffiziente Betriebsführung des Fahrzeugs erhebliche Einsparpotentiale und somit eine Steigerung der Reichweite. Durch den enormen Boom der Fahrerassistenzsysteme bis hin zum autonomen Fahren bieten moderne Fahrzeugsysteme einen großen Umfang an Umfeldsensorik sowie Car2Car oder Car2Infrastructure Kommunikation und sind nicht mehr nur eine Zukunftsvision. Der Fokus dieses Projektes liegt auf der Anwendung im urbanen und interurbanen Raum für z.B. den täglichen Weg zur Arbeit. Das Projekt beschäftigt sich auf Fahrzeugsystemebene mit den Potentialen, die ein Zusammenschluss einer Vielzahl von Umgebungsinformationen, wie z.B. zu fahrende Route, Fahrbahnsteigung, Wetter, Ampelzustände, Verkehr und Informationen über den Arbeitspunkt und Betriebszustand des Antriebsstrangs bietet. Mittels Sensitivitätsanalysen des offenen Systems sollen Potentiale zur Energieeinsparung aufgezeigt werden und mit modernen Methoden der Regelungstechnik entsprechend realisiert und im Fahrzeug dargestellt werden. Neben dem wissenschaftlichen Mehrwert steht auch immer eine praktische Anwendbarkeit im Vordergrund. Daher werden die Sensitivitätsmethoden auch auf die geschlossenen Regelkreise angewandt. Somit können Reglerstrukturen verein-

facht und die Rechenzeit reduziert werden um die Umsetzbarkeit auf einem Seriensteuerggerät im KFZ zu gewährleisten.

Labor für angewandte Produktionstechnik und Kabeltechnologie (LAP)

In Zeiten von Industrie 4.0 und Digitalisierung sowie der Verbesserung der Grundversorgung mit Daten und Energie darf nicht vergessen werden, dass Energie durch Kabel und Leitungen übertragen wird. Der Zuverlässigkeit von Kabeln und Leitungen kommt somit eine immer höhere Bedeutung zu. Dies gilt auch für deren Lebensdauervorhersage. Auch für die Grundversorgung der Haushalte mit Energie in Deutschland wird dies immer wichtiger. Die meisten Leitungen sind seit ca. 40-50 Jahren installiert. Die Überprüfung, wann eine Leitung ausgetauscht werden muss, ist derzeit nicht möglich. Das Labor für angewandte Produktionstechnik und Kabeltechnologie im Fachbereich Technik der Hochschule Trier hat eine multiphysikalische Untersuchungsmethode entwickelt, die dies künftig ermöglicht. Diese Methode stellt eine intelligente Technologie für nachhaltige Entwicklungen dar, da sie helfen würde, die Überdimensionierung von Leitungen oder den prophylaktischen, nicht erforderlichen Austausch von Leitungen zu vermeiden. Seit der Gründung des Instituts im Jahr 2012 erforscht das Labor Methoden, Prüfverfahren, Normen etc., um die Lebensdauer von Leitungen und deren Zuverlässigkeit zu erhöhen. Das Labor hat sich auf multiphysikalische Untersuchungen und eine „forensische Betrachtungsweise“ von Leitungen spezialisiert. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit anderen Hochschulen, dem Verband der Elektrotechnik, Elektronik Informationstechnik e.V. und zahlreichen Unternehmen ermöglicht nicht nur eine Verbesserung in der Lebensdauervorhersage und Prüfung, sondern auch neuwertige Überwachungseinrichtungen für installierte Leitungen. Alle Prüf- und Forschungseinrichtungen sind einzigartig in Deutschland und sind speziell für Forschungszwecke entwickelt und gebaut. Die derzeit vorhandenen Prüfanlagen ermöglichen aber auch für Anwender und Hersteller von Kabeln die Inanspruchnahme von Dienstleistungen, um z.B. neu entwickelte Produkte auf ihre Lebensdauer und Zuverlässigkeit zu überprüfen. Für die Kabelindustrie ist das LAP das derzeitige einzige Labor, welches als neutraler Partner Dienstleistungen und Forschungsaufträge übernimmt. Das Labor ist in das Lehrangebot des Fachbereichs eingebunden und vermittelt den Studierenden multiphysikalisches, interdisziplinäres Wissen auf aktuellem Stand. Die Studierenden können im Rahmen von Projekt- und Abschlussarbeiten in den Forschungsprojekten mitarbeiten. Sie können bereits im Studium ihr erlerntes Wissen in die Praxis umsetzen und frühzeitig Kontakte zur Industrie knüpfen. Sie erwerben wertvolle Kompetenzen, die

sowohl von regionalen, als auch überregionalen Unternehmen permanent stark nachgefragt werden.

Ausgewähltes Projektbeispiel: Multiphysikalische Betrachtung von Kabeln und Leitungen unter mechanisch-dynamischer Belastung

Im Rahmen einer kooperativen Promotion mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der Hochschule Trier werden Kabel und Leitungen, die Anwender in erster Linie als elektrisches Bauteil wahrnehmen, im Sinne der Versagens- und Dimensionierungssystematik eines Maschinenelementes erforscht. Das Projekt befasst sich mit der Erforschung mechanisch beanspruchter Kabel und Leitungen. Ihr Einsatz soll sicherer und der Austausch dauerbelasteter Leitungen vorhersehbar werden. An Leitungen in bewegten Anwendungen bestehen hochkomplexe elektrische und mechanische Anforderungen, die derzeit unzureichend erforscht sind. Eine Betriebsdauer lässt sich nicht berechnen. Gerade im Hinblick auf Industrie 4.0 und autonomes Fahren könnten außerplanmäßige Maschinenstillstände kritisch werden. Mit beschleunigten Alterungstests versuchen Hersteller und Anwender in einer immer kürzer werdenden Time-To-Market ihre Produkte zu erproben. Während der Arbeit hat sich herausgestellt, dass die Vorgaben von Normen unzureichend beschrieben sind. Mit der multiphysikalischen Erfassung des Schädigungsverlaufes in Dauerprüfungen können für bewegte Leitungen Verschleißindikatoren herausgestellt werden, die ein neuartiges Phasenmodell der Lebensdauer von mechanisch-dynamisch belasteten Leitungen bilden. Die Untersuchungen zeigen, dass es unter anhaltender mechanischer Belastung vor einem Bruch von Leitungen zu Gefügeveränderungen und Oberflächenrauheiten des Kupferwerkstoffes kommt, die elektrotechnisch gemessen werden können. Damit ist die Grundlage eines Kabelmonitoring-Systems geschaffen. Die Forschungsergebnisse tragen zu einer vorhersehbaren Produktlebensdauer der mechanisch eingesetzten elektrischen Produkte und somit zu einer erhöhten Zuverlässigkeit in vielen Branchen bei.

Konsortium: Labor für angewandte Produktionstechnik (LAP) des Fachbereichs Technik an der Hochschule Trier, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Laufzeit: bis 2019

Übergreifende Projekte

Auch in Zusammenarbeit der verschiedenen Institute, Fachbereiche und Kompetenzzentren entstehen an der Hochschule Trier innovative Projekte im Bereich der Energieforschung:

Ausgewähltes Projektbeispiel: UmTecNetz-Potenzial

Das vom Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten geförderte Projekt UmTecNetz-Potenzial RLP ist am im Juli 2019 am Umwelt-Campus Birkenfeld gestartet. Beteiligt an der institutsübergreifenden Begleitforschung, die sich mit der Weiterentwicklung von Netzwerkstrukturen, insbesondere am Beispiel des Umwelttechniknetzwerks Ecoliance beschäftigt, sind das Institut für Technologiemanagement (IBT), das Institut für Softwaresysteme (ISS) sowie das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS). Ecoliance ist als zentraler Ansprechpartner für die Umwelttechnologie in Rheinland-Pfalz tätig und verbindet Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen, Kommunen sowie kommunale Betriebe. Unter der Leitung von Prof. Dr. Henrik te Heesen (IBT), Prof. Dr. Stefan Naumann (ISS) und Prof. Dr. Peter Heck (IfaS) sollen verschiedene Umwelttechnik-Netzwerke analysiert werden, um so die Frage zu beantworten, wie Chancen bestehender Strukturen optimal genutzt und Stärken weiter ausgebaut werden können. Die Netzwerk-Mitglieder sollen dadurch kontinuierlich von einer qualitativ hohen Weiterbildung, von neuen Wirtschafts-Kooperationen, der Vernetzung von Unternehmen und Hochschulen, von Zugängen zu internationalen Märkten und von Kontakten zu möglichen Auftrags- und Fördermittelgebern profitieren. Zur Erreichung dieser Ziele soll beispielsweise ein dauerhaftes Netzwerk-Wissensmanagement entwickelt und etabliert werden, um so die Weitergabe von fachspezifischem Wissen und von Erfahrungen zu gewährleisten. Darüber hinaus spielen auch die Analyse zur Sichtbarkeit durch Netzwerke sowie die Sicherung von Fachkräften eine wichtige Rolle. So nimmt das Projekt eine Vermittlungsfunktion ein und bringt beispielsweise im Rahmen von Projekten oder auch Abschlussarbeiten Studierende und Unternehmen zusammen.

Konsortium: Ecoliance Rheinland-Pfalz e.V., Hochschule Trier (Umwelt-Campus Birkenfeld), Laufzeit: April 2019 - Dezember 2021, gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz

Technische Hochschule Bingen

Projekt: Energieforschung mit dem Energy Cube an der TH Bingen

Durch verschiedene Fördermittelgeber konnte an der TH Bingen im Jahr 2019 ein Tiny-house errichtet werden. Mit dem Gebäude untersuchen Marvin Uhr, Prof. Dr. Martin Pudlik und Prof. Andreas Winkels, wie die einzelnen Komponenten und Systeme der technischen Gebäudeausrüstung optimal zusammenwirken, damit zum einen der Wärme-, Kälte- und Strombedarf im Gebäude über das gesamte Jahr möglichst effizient gedeckt werden kann. Zum anderen soll der Betrieb der Anlagen nach Möglichkeit die Fluktuationen der Erneuerbaren Energien ausgleichen und so die Stromnetze entlastet. Dazu werden meteorologische und Stromnetzdaten einbezogen und die Anlagen damit vorausschauend gefahren. Die Erfahrungen aus dem Energy Cube werden später auf anderen Gebäuden übertragen. Darüber hinaus entwickelt die TH ein Energiemanagementsystem, das herstellerunabhängig für jegliche Art von Anlagen eingesetzt werden kann, um eine bedarfsoptimierte Fahrweise der Gebäudetechnik zu realisieren und darüber hinaus eine Kommunikation mit anderen Gebäuden zu ermöglichen. Ein Eisspeicher untersucht die Potentiale von saisonalen thermischen Speichern.

ITB Bingen

Forschung, Technologie und Wissenstransfer

Energieforschung in Hochschulen und Universitäten

EffCheck – Ressourceneffizienz Rheinland-Pfalz

Analysen zum Produktionsintegrierten Umweltschutz (PIUS)

Seit Anfang 2007 unterstützt die rheinland-pfälzische Landesregierung, vertreten durch das MUEEF mittelständische Unternehmen bei der Durchführung von Analysen zum Produktions-integrierten Umweltschutz (PIUS). Unter der Bezeichnung „EffCheck – Ressourceneffizienz in Rheinland-Pfalz“ können sich mittelständische Unternehmen aus dem privaten und kommunalen Bereich ihre Produktion auf Kosten-, Ressourcen-, Emissions-, und Energieeinsparpotentiale untersuchen lassen. Ziel ist es hierbei, den Unternehmen aufzuzeigen, in welchen Bereichen ihrer Produktion bzw. betriebsinternen Abläufe Einsparpotentiale liegen

Darauf aufbauend werden Vorschläge zur Umsetzung dieser Potentiale erarbeitet und auf ihre ökologische Wirkung und Wirtschaftlichkeit hin bewertet. Die Transferstelle Bingen als langjähriger Partner im Effizienznetz Rheinland-Pfalz ist gelisteter EffCheck-Berater. Sie unterstützt bei der Durchführung eines EffChecks kompetent und herstellernerneutral in allen Bereichen des Unternehmens. Die Ingenieure der TSB arbeiten seit mehr als 25 Jahren an Projekten zur effizienten und erneuerbaren Energienutzung erfolgreich mit Unternehmen zusammen.

Klimaschutzkonzepte der Transferstelle Bingen

Die Transferstelle Bingen erstellt seit über 25 Jahren kommunale Energie- und Klimaschutzkonzepte. Seit 2008 konnten etwa 60 Klimaschutz(teil-)konzepte für 43 Gebietskörperschaften ausgearbeitet werden. Die Klimaschutzkonzepte bewegen sich in einem breit aufgestellten Themenspektrum, in dem sowohl integrierte Klimaschutzkonzepte wie auch Klimaschutzteilkonzepte mit konkreten Schwerpunkten im Fokus stehen. In allen Klimaschutzkonzepten werden Potenziale und Maßnahmen im Bereich erneuerbare Energienutzung untersucht. Die Bearbeitung erfolgt in partizipatorischen Prozessen, die sowohl in der Akteurs- und in der Öffentlichkeitsarbeit wie auch in der Arbeit mit politischen Gremien stattfinden. In der Umsetzungsphase der Klimaschutzkonzepte berät und begleitet die Transferstelle Bingen die Kommunen und deren Klimaschutzmanagerinnen und –manager in konkreten Projekten wie beispielsweise im Aufbau einer Eigenstromversorgung, im Ausbau von Wärmenetzen, oder in einer energiewirtschaftlichen Optimierung kommunaler Einrichtungen (z.B. Trinkwassernetz). Im Jahr 2019 hat sich die „Kommunalrichtlinie“ als Bundesförderprogramm für Klimaschutzprojekte dahingehend geändert, dass die Erstellung von Klimaschutzkonzepten durch Klimaschutzmanager*innen bezuschusst werden. Als externe Dienstleisterin unterstützt die Transferstelle Bingen seitdem drei Gebietskörperschaften in der Konzepterstellung (Treibhausgasbilanzierung und Berechnung von Potenzialen sowie Szenarien) und führt die Prozessunterstützung für Klimaschutzmanager*innen aus. Darüber hinaus wurden bislang für 18 Gebietskörperschaften energetische Quartierskonzepte in Zusammenarbeit mit den Partnern der Transferstelle Bingen (Stadt-Land-plus und Stadt-Land-Bahn) erstellt, in denen kleinräumig umsetzungsfähige Projektideen zur Weiterentwicklung der Energieversorgung, einschließlich Energieeinsparungen und Effizienzsteigerung, individuell für das Quartier erarbeitet wurden.

Zukunftsinitiative Smart Grids Rheinland-Pfalz

Um eine sichere, umweltverträgliche und kostengünstige Energieversorgung gewährleisten zu können, spielt die Entwicklung von Stromnetzen, die intelligent auf Angebot und Nachfrage reagieren, eine zentrale Rolle. Sogenannte Smart Grids sind ein wichtiger Baustein für die intelligente, nachhaltige Energieversorgung der Zukunft. Die intelligente Vernetzung von Energieerzeuger, -verbraucher und -verteiler erhöht die Effizienz und führt zur Reduktion von Lastspitzen. Um die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen der Energiewirtschaft zu begegnen, wurde 2010 das Kompetenznetzwerk Smart Grids gegründet und in den folgenden Jahren ausgebaut. Aufbauend auf dem bestehenden Kompetenznetzwerk Smart Grids, den bisherigen Projekten und Aktivitäten der Landesregierung Rheinland-Pfalz, wurde in 2013 die Zukunftsinitiative Smart Grids Rheinland-Pfalz gegründet. Ziel des Kompetenznetzwerks Smart Grids und Virtuelle Kraftwerke ist es, eine Informations- und Kommunikationsplattform zu allen Fragen mit Bezug zu Smart Metering, Smart Grids sowie Virtuelle Kraftwerke, aber auch Smart Market in Rheinland-Pfalz zu bilden. Getragen wird die Zukunftsinitiative von der Transferstelle Bingen (TSB) und der Energieagentur Rheinland-Pfalz. Die TSB bietet hierbei die wissenschaftliche Leitung in anwendungsorientierten Projekten und die verbesserte Beratung von Unternehmen und Kommunen in den Energiewirtschaftsthemen an.

Prüfstand und Batteriespeicher an der Technischen Hochschule Bingen

Die Technische Hochschule Bingen betreibt seit 2003 einen Heizungsprüfstand, an dem verschiedene Energieerzeuger getestet werden können. Unter anderem wurden bisher verschiedene Mini-BHKWs, ein Stirlingmotor, eine Brennstoffzelle und ein Latentwärmespeicher im Rahmen von Versuchsreihen getestet. Die erzeugte Wärme und der erzeugte Strom werden in das Netz der TH Bingen eingespeist. Im Sommer, wenn kein Wärmebedarf durch die TH Bingen besteht, kann die überschüssige Wärme über einen Rückkühler abgeführt werden. Verfahrenstechnische Messgrößen wie Temperatur, Druck, Durchfluss, Wärmeleistungen, Wärmemengen und Zählungen elektrischer Wirkleistung sind vielfältig realisiert. Im Jahr 2017 wurde der Heizungsprüfstand um einen 1.000-Liter-Pufferspeicher, bestückt mit 3 Heizstäben à 9 kW elektrischer Leistung, erweitert. Durch diese Maßnahme können an der TH Bingen Versuchsreihen und Ausbildung der Studenten im Bereich der Power-to-Heat-Technologie stattfinden. In Zusammenarbeit mit der Transferstelle Bingen werden energie-

wirtschaftliche Untersuchungen unterstützt und die Anbindung an den Marktparallel-Server der TSB genutzt, um die Wirkungsweise von Power-to-Heat-Anlagen nachzuweisen und in Forschung und Lehre zu vermitteln. Im Jahr 2019 wurde an der TH Bingen eine Batteriespeicher-Versuchsanlage der Firma Vela mit einer Speicherkapazität von 32 kWh sowie einer Lade-/Entladeleistung von 20 kW in Betrieb genommen, an der verschiedene energiewirtschaftliche Anwendungsfelder getestet und in Forschung und studentischer Ausbildung eingesetzt werden sollten. Die Anlage wurde ebenfalls an den Marktparallelserver der TSB angebunden und konnte so über eine spezielle Software-Entwicklung für die Vermarktung von Primärregelleistung (PRL) angesteuert und getestet werden. Darüber hinaus wurde eine Peak-Shaving-Anwendung entwickelt, die zur Kappung von Lastspitzen eingesetzt werden konnte. Weiterhin konnte der Speicher auch zu Zwecken des Eigenbedarfs eingesetzt werden, wie z.B. eine Einspeisung ins Netz, wenn die Heizstäbe der Pth-Versuchsanlage Leistung aus dem Netz beziehen.

Projektbeispiele

Designetz

Laufzeit: 01.01.2017 – 31.12.2020; Fördermittelgeber: BMWi

Projektpartner Bergische Universität Wuppertal, DFKI, Fraunhofer IESE, gwi, htw saar, IAEW, iöw, offis, StoREgio, TU Dortmund, Transferstelle Bingen, Universität des Saarlandes, Energieagentur Rheinland-Pfalz, DEW 21, ewr netze, IBB, innogy, Mainzer Stadtwerke, Pfalzwerke, SPIE, Stadtwerke Saarlouis, SWT, steag, TWL, voltaris, predict, AWSi, 450 connect, hager group, John Deere, Schabmüller

Mit dem Förderprogramm „Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“, setzt die Bundesregierung ein klares Zeichen für die Energiewende in Deutschland. Am Konsortium Designetz sind unter Federführung von innogy 46 Partner aus Stadtwerken, Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung über die Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Saarland hinweg beteiligt. Das Schaufenster DESIGNETZ besteht aus zahlreichen Einzelprojekten, die ihre Antwort auf die Herausforderungen durch die Energiewende im Strommarkt aufzeigen. Im aussteuernden Systemcockpit sollen technische Lösungen aufgezeigt werden, wie dezentral bereitgestellte Energie zu volkswirtschaftlich minimalen Gesamtkosten für die Versorgung von Lastzentren genutzt werden kann. So-

mit wird die Sinnhaftigkeit eines regionalen Ausgleichs von EE-Dargebot und Nachfrage mit dem Ziel einer effizienten Infrastrukturnutzung untersucht. Um die Effizienz des Zusammenspiels unterschiedlicher Anlagen-Flexibilitäten der Einzelprojekte auf der System-, Markt- und Netzebene zu steigern, werden im Projekt die Komponenten Netz, Markt, IKT sowie die Integration im Energieversorgungssystem betrachtet. Die Arbeit der Transferstelle Bingen führt dazu, dass die Einzelprojekte übertragbar und vergleichbar werden, ohne die einzelnen Geschäftsinteressen der Unternehmen zu gefährden. Das regionale und übergreifende Zusammenspiel der Flexibilitäten wird durch die TSB koordiniert, für die optimierte Vernetzung in neuen virtuellen Kraftwerken vorbereitet und die Bedeutung und Wirkung vor allem auf Marktmechanismen und Flexibilitätseinsatz wirksam bewertet.

VEVIDE 2 – Branchenanalyse

Laufzeit: 01.09.2017 – 31.12.2018; Fördermittelgeber: MUEEF

Im Forschungsprojekt VEVIDE wurde der Aufbau eines virtuellen Energiespeichers in Anlehnung an ein virtuelles Kraftwerk durch die Transferstelle Bingen durchgeführt. Im nachgelagerten Projekt VEVIDE 2 war es das Ziel, die auftretenden Herausforderungen der Energiewende gemeinsam mit den Branchen und Unternehmen in Rheinland-Pfalz zu bewältigen und das Potential zur Lastverschiebung und zur Speicherung der Energie vor Ort zu erschließen. Dabei wurden flexible Lasten in Unternehmen identifiziert. Diese sind gut steuerbare Anlagen, bei denen sich der Verbrauch relativ einfach verringern, erhöhen oder in gewissen Grenzen zeitlich variabel verschieben lässt, auch „Lastmanagement“ genannt. Mit Hilfe des Lastmanagements kann der eigene Stromverbrauch an den Strommarktsignalen entsprechend ausgerichtet und Produktionsprozesse flexibel gesteuert werden. Dadurch können auch die Energiekosten des Unternehmens nachhaltig reduziert werden. Das Anknüpfen an das abgeschlossene Projekt VEVIDE zielt darauf ab, über Verbände und Branchen-Cluster eine breite Masse an Unternehmen für das Thema zu mobilisieren und Akzeptanz für das Thema zu schaffen. Die im Projekt durchgeführten Untersuchungen sollen Wertschöpfungspotentiale für die Unternehmen (Branchen) aufzeigen.

Q-SWOP

Laufzeit: 01.10.2018-30.09.2023; Fördermittelgeber: BMWi

Projektpartner EnergyEffizienz GmbH, RWTH Aachen – Institut für Hochspannungstechnik

Ziel des Forschungsprojekts Q-SWOP ist die Erhöhung der Anwendbarkeit und Praxistauglichkeit des im Rahmen des Projekts EnEff:Stadt Modellstadt25+ / Lampertheim effizient (2012-2017) entwickelten computergestützten Verfahrens zur Erstellung von „Quartier-Masterplänen“, die Effizienzmaßnahmen identifizieren und nach unterschiedlichen Kriterien bewerten. Erzielt wird die Erhöhung durch Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung und baulichen Umsetzung in mehreren Quartieren. Dazu werden zum einen Umsetzungsanforderungen identifiziert und integriert und zum anderen weitere Technologien und Effizienzkonzepte in das Verfahren eingebunden. Die Umsetzungsanforderungen lassen sich aus den Ergebnissen der Feinplanung und des Messprogramms ableiten und beziehen sich z.B. auf die baulichen Restriktionen sowie das reale Verhalten der betrachteten Anlagen. Darüber hinaus ermöglicht die Integration weiterer Technologien und Effizienzkonzepte die Berücksichtigung von wirtschaftlich oder politisch getriebenen Entwicklungen bei der Erstellung von „Quartiers-Masterplänen“. Aktuell wird Quartiersstromkonzepten und der Elektromobilität eine besondere Bedeutung zugeschrieben. Im Rahmen des Forschungsvorhabens ist zunächst die Anwendung des Planungsverfahrens zur Erstellung von „Quartiers-Masterplänen“ für vier im Voraus ausgewählte Quartiere vorgesehen (in den Städten Lampertheim und Langen sowie den Gemeinden Rabenau und Biblis). Nach der Identifikation der Effizienzmaßnahmen folgen die Feinplanung sowie die bauliche Umsetzung in den Quartieren. Hieran schließt sich ein wissenschaftliches Messprogramm an, das die Kernkomponente für die Ableitung von Erkenntnissen zur Erhöhung der Anwendbarkeit und Praxistauglichkeit des Verfahrens darstellt. Parallel dazu erfolgt die Verfahrensweiterentwicklung, zunächst in Bezug auf die Integration von Quartiersstromkonzepten und Elektromobilität und anschließend auf die Umsetzungsanforderungen.

Grubenwasserwärmenutzung zur Beheizung des Rathauses der Verbandsgemeinde Bad Ems

Laufzeit: 01.03.2016 – 31.12.2019; Fördermittelgeber: MUEEF

Kooperationspartner VG Bad Ems, Klimaschutz Bad Ems, Bernardi-Ingenieure, geo consult POHL

Die Verbandsgemeinde Bad Ems beschäftigt sich aufgrund des großen Potentials seit 2006 mit der geothermischen Nutzung der Grubenwässer (25°C und etwa 100 m³/h). Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Umsetzungsprojektes im Rathaus werden die vorliegende Bestands- und Wirtschaftlichkeitsanalyse überarbeitet sowie ein Mess- und Zählerkonzept erstellt. Die Zusammenarbeit mit den verschiedenen Planern und ausführenden Unternehmen wird von der Transferstelle Bingen begleitet. Die Erfolge des Projektes werden im Rahmen der Evaluation messtechnisch erfasst und interpretiert. Da in Rheinland-Pfalz im großen Maß Potentiale durch thermale Gruben- und Mineralwässer vorzufinden sind, wird die Übertragbarkeit auf andere Standorte anhand der Erkenntnisse diskutiert und vor anderen Akteuren dargestellt. Ziel der Maßnahmenumsetzung ist eine deutlich effizientere und emissionsärmere Heizwärmeversorgung des Rathauses. Die Umsetzung und die Evaluation der ersten Betriebsjahre soll demonstrieren, dass sowohl die Geowärmeerschließung mit günstigen Materialien als auch die Machbarkeit der Beheizung eines historischen Bestandsgebäudes mit Niedertemperatur möglich ist. Ziele der wissenschaftlichen Begleitung ist die Erfüllung der Anforderungen des Energiekonzeptes und der damit verbundenen Klimaschutzziele sowohl bei der Planung als auch bei der Umsetzung. Seit 2009 loben das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und das Deutsche Institut für Urbanistik jährlich den Wettbewerb "Klimaaktive Kommune" aus. Die Auszeichnung 2018 wurde unserem Projektpartner, der Verbandsgemeinde Bad Ems, für die klimaschonende Beheizung des Rathauses mit warmem Grubenwasser vergeben.

Zellenübergreifende Regionalisierung der Energieversorgung durch betrieboptimierte Sektorenkopplung (RegEnZell)

Laufzeit: 04/2019 – 03/2022; Fördermittelgeber: BMWi

Kooperationspartner EWR Netze, Stadt Kirchheimbolanden, Stadt Alzey, DVGW, KIT, Cerventus, STAWAG, Viessmann

Zur Dekarbonisierung des Stromsystems und vor allem auch des Gas-, Wärme- und Mobilitätssektors müssen erneuerbare Energien in diese Sektoren integriert werden. Neben einer stärkeren Verteilung der Energie auf der Übertragungsnetzebene muss auch die effizientere regionale Nutzung auf der Verteilnetzebene durch eine intelligente Verschaltung (Sektorenkopplung) aller erzeugenden und verbrauchenden Energieträger in einem multimodalen Energienetz vorangetrieben werden. Die innerhalb von intelligent kooperierenden multimodalen Einzelzellen zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energien sollen dort, auch möglichst optimal für alle Energieanwendungen, genutzt werden. Ein Überschuss wird dann entweder in der Zelle gespeichert oder den im Verbund betrachteten anderen Zellen zugeführt. Dadurch wird zwar Energie über das vorgelagerte 110 kV Netz verteilt, jedoch nur zwischen den kooperierenden Zellen. Durch diese erweiterte Betrachtung der Region kann der Netzausbau im Rahmen der Energiewende effizienter gestaltet werden. Darüber hinaus leistet dieser Ansatz einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz vor Ort. Basis der Forschung sind reale Messdaten der erzeugten erneuerbaren Energien und des Energieverbrauchs der Haushalts-, Gewerbe- und Industriekunden in den betrachteten Energiezellen. Als Modellstandorte zur Durchführung des Demonstrationsprojekts wurden die Stadt Kirchheimbolanden sowie die benachbarte Stadt Alzey ausgewählt. Das Projekt knüpft an das bereits erfolgreich durchgeführte Vorgängerprojekt „RegEnKibo“ an.

Kalte Nahwärme in Neubaugebieten

Die innovative Technologie Kalte Nahwärme gewinnt in unserer Region zunehmend an Bedeutung, da hiermit insbesondere Neubaugebiete sehr klimafreundlich gebaut werden können. Sole/Wasser-Wärmepumpen haben gegenüber den weit verbreiteten Luft-/Wasser-Wärmepumpen den Vorteil, dass sie keine Schallemissionen im Neubaugebiet verursachen und wegen ihrer höheren Energieeffizienz weniger CO₂e-Emissionen aufweisen. Lokale

Emissionen werden sogar ganz vermieden. Ein Kaltes Nahwärmenetz verfügt über eine zentrale Wärmequelle (z.B. Erdsondenfeld). Hier nimmt ein Wärmeträgermedium, ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel, die Wärme des Erdreichs/Grundwassers mit seinen ganzjährig konstanten Temperaturen von zehn bis zwölf Grad Celsius auf. Durch eine Ringleitung gelangt das erwärmte Trägermedium zu den Gebäuden. Dort heben Wärmepumpen die bereitgestellte Energie auf das individuell gewünschte Temperaturniveau. Neben der Heizung im Winter bietet das Netz auch die Möglichkeit, die Häuser im Sommer ökologisch und wirtschaftlich zu kühlen („Freecooling“). Die erfolgversprechende Technologie kommt verstärkt in Neubaugebieten zum Einsatz. Im Rahmen von Machbarkeitsstudien bis hin zur projektspezifischen Beratung und Begleitung der Umsetzung unterstützt die Transferstelle Bingen die Kommunen.

Wissenstransfer für die Verbreitung von nachhaltigen Umsetzungen in Energiesystemen in Rheinland-Pfalz

Laufzeit: Seit 01.05.2019; Fördermittelgeber: MUEEF

Die rheinland-pfälzischen Kommunen und Unternehmen tragen bereits durch vielfältige Projekte zum Klimaschutz bei. Für konkrete Umsetzungen und um Maßnahmen anzustoßen, braucht es jedoch häufig eine Priorisierung und die fundierte Motivation der Akteure vor Ort. Häufig fehlt die wissenschaftliche Expertise, Ergebnisse allgemeingültig und allgemeinverständlich aufzuarbeiten, damit die Multiplikation an anderen Orten gelingt. Diese Aufgabe übernimmt die TSB im Rahmen des Wissenstransfers für die Verbreitung von nachhaltigen Umsetzungen in Energiesystemen in Rheinland-Pfalz. Im Rahmen der Beratung sollen Erfahrungen aus anderen Projekten, kommunalen Umsetzungen und Konzepten verbreitet werden und den kommunalen Entscheidungsträgern helfen, ihre Projektideen voran zu bringen. Die TSB steht dabei als technisch-wissenschaftlicher Ansprechpartner für den Wissenstransfer und die Initialberatung von Kommunen zur Verfügung, um Fragen zu Innovation und Technologien zu beantworten und Umsetzungsmöglichkeiten zu diskutieren. An dieser Stelle kann die TSB auf ihren Erfahrungsschatz und die Projekt-, sowie Netzwerkarbeit der vergangenen Jahre zurückgreifen und den Akteuren vor Ort im Rahmen von ersten fachlich-wissenschaftlichen Gesprächen, Gremiensitzungen oder Workshops aus der Praxis berichten, relevante Erfahrungen für den jeweiligen Akteur übertragbar machen und so die Energiewende im Land Rheinland-Pfalz vorantreiben. Die technisch-wissenschaftliche Expertise

der TSB wird eingesetzt, um mit fundiertem Fachwissen innovative Technologien und Umsetzungsbeispiele zu multiplizieren.

Fraunhofer IESE Kaiserslautern

Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und regenerative Eigenstromversorgung

Bezug: Fraunhofer Zentrum Kaiserslautern (IESE und ITWM)

- Fraunhofer in Kaiserslautern betreibt Photovoltaik-Anlagen von in Summe 44,5 kWp / 49 MWh in 2020.
- Fraunhofer in Kaiserslautern betreibt KWK Anlagen mit einer Leistung von 400 kW thermisch / 248 kW elektrisch. Jahresproduktion 2020: 2.900 MWh thermisch, 1.700 MWh elektrisch.
- Fraunhofer in Kaiserslautern betreibt Kältegewinnung mittels freier Kühlung, 136MWh in 2020, ca. 15% des Gesamtkältebedarfs

Versorgungssicherheit durch Flexibilisierung des Energieversorgungssystems

Bezug: Fraunhofer Zentrum Kaiserslautern (IESE und ITWM)

- Möglichkeit zur Spitzenabdeckung und Lastumschaltung auf Fernwärme; Nahwärmenetz des Energieversorgers mit KWK-Kraftwerk, zur Sicherstellung des Heizungssystems
- Aufrechterhaltung des Betriebes durch Sicherheitsstromversorgung (SV) mittels Diesel-Notstromaggregat.
- Redundant aufgebaute Kälteversorgung mit unterschiedlichen Kältemaschinentypen (Freie Kühlung, Absorptionskälte sowie Kompressionskälte)

Energieforschung und Wissenstransfer

Bezug: Fraunhofer IESE

- Fraunhofer IESE ist seit Beginn 2021 neues Mitglied der Fraunhofer Allianz Energie und somit optimal mit allen wichtigen Instituten der Energieforschung innerhalb Fraunhofer eng vernetzt.
- Fraunhofer IESE ist beteiligt an mehreren Forschungsprojekten im Bereich Energie, bspw. den Schaufensterprojekten enera und Designetz. Bei den Energie-Projekten geht es vorrangig um Softwarelösungen für Sektorenkopplung, Flexibilisierung im Verteilnetz und Elektromobilitätseinbindung. Dabei werden Software-Plattformen für die Integration von Anlagen nach dem Vorbild von Industrie 4.0. weiterentwickelt und Fragen der Safety und Security sowie Datennutzungskontrolle bearbeitet. Von besonderem Interesse sind Digitale Zwillinge, die (u.a. auch energetische) Eigenschaften der Anlagen zum Zwecke der Simulation und des optimierten Betriebs abbilden. Die Fragen der Bilanzierung bzw. des detaillierten Nachweises der Energieverbräuche (nach Herkunft) und der Treibhausgaserzeugung sind wichtige neue Aspekte, die auf o.g. Plattform in aktuellen und verstärkt in zukünftigen Projekten abgebildet werden sollen (Akquise-Fokus für neue Projekte).

Fraunhofer-ITWM KAISERSLAUTERN

COpt2 - Optimierung komplexer Trinkwasserversorgungsnetze

(Bereich OPT)

Laufzeit: 26.06.2019-30.06.2022; Fördermittelgeber: Land Rheinland-Pfalz

Im Rahmen des durch den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes Rheinland-Pfalz geförderten Projekts COpt2 knüpft das Fraunhofer ITWM an das erfolgreiche, BMBF-geförderte Projekt H2Opt an, Energie und Kosten im Betrieb und bei der Planung der Trinkwasserversorgung zu sparen. Im Vordergrund steht die Weiterentwicklung des Softwareprototyps, der bereits in Worms eine Energieersparnis von etwa 30 % nachweisen konnte. Neue Herausforderung ist die Erweiterung auf komplexere Trinkwassernetzwer-

ke. Das ITWM untersucht gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen der TU Kaiserslautern die Trinkwassergebiete der Wasserversorgung Germersheimer Südgruppe (WGS) rund um Jockgrim und das Versorgungsgebiet der EnergieSüdWest GmbH (ESW) in Landau. Neben der Entwicklung neuer Modellierungskonzepte werden Fragestellungen beantwortet, die für die jeweiligen Versorger besonders interessant sind. Die ESW fragt nach einer klugen Bewirtschaftung der Trinkwasserzweischenspeicher. Denn, reichen die natürlichen Wasserressourcen im Sommer nicht aus, muss auf das Trinkwasser aus benachbartem Brunnengebiet zurückgegriffen werden. Das bedeutet mehr Energieaufwand. Auch möchte der Versorger eine Vermischung von Trinkwasser unterschiedlicher Qualität vermeiden, was wiederum mehr Aufwand bei der Überwachung bedeutet. Das aus 13 zusammengeschlossenen Netzwerken bestehende Versorgungsgebiet der WGS ist aufgrund seiner Größe besonders interessant. Es erstreckt sich über mehr als 20 km in Nord-Süd-Richtung. Um den Trinkwassertransport zu steuern, bedarf es mehrerer Wasserwerke. Diese beeinflussen gegenseitig den Betrieb, was zu neuer Komplexität führt. Entsprechend wird die Algorithmik angepasst, die notwendig ist, möglichst schnell und exakt beste Pumpenbetriebspläne zu berechnen.

ABBA-VEEB - Ausbau der Batteriesimulation BEST zu einer Auslegungsplattform für die virtuelle Entwicklung und Erprobung von Batteriezellen
(Abteilung SMS)

Laufzeit: 01.07.2018-30.09.2021; Fördermittelgeber: Land Rheinland-Pfalz, EU EFRE

Die am ITWM entwickelte Simulationssoftware BEST (Battery and Electrochemistry Simulation Tool) nutzen aktuell besonders Expertinnen und Experten in der Automobilindustrie für die Batteriezellenentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien. Neue Elektrodenmaterialien und Elektrolytkonzepte wie Feststoffelektrolyte sind jedoch nur bedingt durch die aktuelle Simulationstechnologie abgedeckt. Auch die Fragen der Alterung und Schädigung der Batteriezelle über den Lebenszyklus wird bisher nur teilweise betrachtet und auch die Nutzung der detaillierten Batteriemodelle im Batteriemanagementsystem ist aktuell nicht durchgängig möglich. Im Projekt ABBA-VEEB wird basierend auf BEST eine deutlich breiter einsetzbare Auslegungsplattform entwickelt und getestet – sowohl für das virtuelle Design als auch für die virtuelle Erprobung von aktuellen Hochleistungsbatterien für die E-Mobilität. Dafür notwendig sind folgende technologische Entwicklungen:

- Entwicklung einer skalenübergreifenden Batteriezellensimulation für ein breites Anwendungsspektrum und Materialvielfalt,
- Weiterentwicklung der Simulationsinfrastruktur im Hinblick auf Performanz, Flexibilität und Bedienbarkeit,
- Entwicklung von Simulationslösungen zur Bewertung der Alterung und Zyklenstabilität von Batteriezellen durch die Berücksichtigung der elektrochemischen und thermomechanischen Effekte.

Das Projekt wird im Rahmen des Leistungszentrums »Simulations- und Software-basierte Innovation« bearbeitet und ist ein wesentlicher Aspekt in der aktuellen Ausrichtung des Leistungszentrums zur Stärkung der Technologieentwicklung im Bereich der Elektromobilität am Standort Kaiserslautern. Die Mittel stammen aus dem rheinland-pfälzischen Ministerium für Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur sowie dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Rahmen des Ziels »Investitionen in Wachstum und Beschäftigung« (IWB).

GreenPowerGrid - der regionale Grünstromtarif

(Abteilung HPC)

Laufzeit: 13.06.2016-31.12.2021; Fördermittelgeber: Land Rheinland-Pfalz, EU EFRE

Das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM entwickelt im Rahmen des GreenPowerGrid-Projekts ein Businessmodell für Energieversorgungsunternehmen zur wirtschaftlichen Umsetzung eines verteilten, batteriegestützten PV-Speicherkraftwerks sowie moderne Softwaretechnologien zur Realisierung. Das verteilte PV-Speicherkraftwerk ermöglicht in Kombination mit weiteren erneuerbaren Energieerzeugern wie Wind, Biomasse und Wasserkraft eine ganzjährig verlässliche, kostengünstige und regionale Energieversorgung. Die Projektförderung erfolgt aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) sowie des Landes Rheinland-Pfalz.

FlexEuro - Wirtschaftliche Optimierung flexibler stromintensiver Industrieprozesse, Teilvorhaben: Day-Ahead-Markt

(Kooperation Abteilung FM und Bereich OPT)

Laufzeit: 01.09.2019-31.08.2022; Fördermittelgeber: BMWI

Im BMWi-geförderten Projekt FlexEuro entwickelt das ITWM Modelle und Methoden für die optimale Vermarktung von Lastflexibilitäten an verschiedenen Strommärkten. Das produzierende Gewerbe braucht viel Strom, Energie und Stromeinsatz sind deshalb oft entscheidende Kostenfaktoren im Industriesektor. Flexibilität im Stromversorgungssystem ist gleichzeitig zum Schlagwort der Stunde avanciert. Denn wer smart auf die Schwankungen am Markt eingeht und seinen Stromverbrauch steuert, profitiert davon. In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) von 2019 bis 2022 geförderten Projekt FlexEuro entwickeln Forschende der Abteilung »Finanzmathematik« und des Bereiches »Optimierung« des Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) Modelle und Methoden für die optimale Vermarktung von Lastflexibilitäten an verschiedenen Strommärkten. Um die Energiewende voranzutreiben, setzt Deutschland immer mehr auf erneuerbare Energieerzeuger. Diese sind oft dargebotsabhängig, das heißt die Stromproduktion hängt vom Wetter ab. Dadurch ist sie volatil und schlechter planbar. Industrielle Großverbraucher, die früher eine konstante Lastabnahme garantiert haben, werden zunehmend unattraktiver. Flexible Anlageneinsatzweisen erzeugen dagegen allerdings häufig höhere Verschleiß- und Opportunitätskosten, sowie organisatorische Komplexität. Am Beispiel der Aluminiumindustrie zeigt das ITWM die perspektivischen Vermarktungspotentiale von flexibilisierbaren Strombedarfen durch die Verzahnung von finanzmathematischen Modellen und mehrkriteriellen Optimierungsverfahren auf. Dabei werden sowohl auktionsbasierte, als auch kontinuierliche Märkte, sowie insbesondere deren Verzahnung betrachtet. Dadurch hat der Verbraucher das Potenzial viel Geld zu sparen. Gleichzeitig wird das Netz stabiler, da Lastspitzen reduziert werden können.

ENets - Mathematik für Innovationen

(Abteilung FM)

Laufzeit: 01.01.2018-31.12.2020; Fördermittelgeber: BMBF

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekt ENets erstellt die Abteilung Finanzmathematik am Fraunhofer ITWM mathematische Prognosemodelle, wie sich der Bedarf an Strom im Jahresverlauf entwickelt, um das Stromnetz der Zukunft optimal zu gestalten.

UPWARDS – Simulation der Physik von Windkraftanlagen und Rotordynamiken

(Abteilung SYS)

Laufzeit: 01.04.2018 – 30.09.2022; Fördermittelgeber: European Union's Horizon 2020 research and innovation program

Das EU-Projekt »UPWARDS – Understanding of the Physics of Wind Turbine and Rotor Dynamics through an Integrated Simulation Framework« startete im April 2018 mit dem Ziel, die Entwicklung größerer und besser ausgelegter Windkraftanlagen zu ermöglichen und damit die Kapazitäten der Windenergie in ganz Europa und dem Rest der Welt zu erhöhen. Dieses Ziel wird durch die Entwicklung der nächsten Generation von multiphysikalischen Simulationen verfolgt, die auf Windströmung, Turbinenmechanik und deren Zusammenspiel spezialisiert sind. Diese Simulationswerkzeuge ermöglichen eine kostengünstigere und schnellere Entwicklung von Prototypen für Windkraftanlagen. UPWARDS ist von strategischer Bedeutung für die Zukunft der nachhaltigen Entwicklung in Europa und wird durch ein Konsortium von elf Partnern (Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten) aus acht Ländern und zwei Kontinenten umgesetzt. Das Fraunhofer ITWM entwickelt eine integrierte Simulationsplattform für die einzelnen Softwaremodule; diese simulieren Windkraftanlagen und Windparks hochpräzise, einschließlich Windströmung, vollständig gekoppelter Fluidstruktur-Interaktion, Systemermüdung sowie Schallausbreitung. Methoden der Modellreduktion und des High Performance Computing erzeugen präzise Simulationsergebnisse des relevanten Systemverhaltens in geringer Rechenzeit. Mit Verfahren des Maschinellen Lernens werden Zusammenhänge wichtiger Phänomene wie Einström- und Turbinenwind, Rotorgeräusche und Versagen der Verbundwerkstoffe identifiziert, um die Performance der zugehörigen Windturbinen zu optimieren.

DESPRIMA – Demand-Side- und Produktionsmanagement für Getränkeabfüllprozesse (Abteilung SYS)

Laufzeit: 01.07.2019 – 30.06.2022; Fördermittelgeber: BMWi

Ziel des Projektes DESPRIMA ist es, die Potentiale zur Bereitstellung möglicher Systemdienstleistungen für das elektrische Netz durch die Getränkeindustrie herauszustellen – insbesondere durch eine intelligente Regelung von Flaschenproduktion, Abfüllanlagen und Verpackungsmaschinen. Durch ein neues smartes Energiemanagement soll eine aktive Teilnahme an den Strommärkten möglich werden. In DESPRIMA zeigen wir gemeinsam mit den Verbundpartnern auf, dass bei ausreichender Flexibilität, Kosten eingespart werden sowie gleichzeitig regelbare und präzisierbare Lasten für das Netz zur Verfügung stehen. Wir entwickeln ein Energiemanagementsystem, das Energiemonitoring und -prognose bereitstellt. Dabei berücksichtigen wir folgende Aspekte besonders: Produktionsvorgaben und -anforderungen, Marktmechanismen für die Symbiose von Produktionsprozessen sowie stabiler Betrieb des elektrischen Netzes. Die Aufgabe des Fraunhofer ITWM-Team besteht in der Entwicklung der physikalischen Modelle, der Zustandsschätzung sowie der Umsetzung modellbasierter prädiktiver Regelungskonzepte für das Demand-Side- und Produktionsmanagement

5Gain – 5G Infrastrukturen für zellulare Energiesysteme unter Nutzung künstlicher Intelligenz (Abteilung SYS)

Laufzeit: 01.12.2019 – 30.11.2022; Fördermittelgeber: BMWi

Durch den dezentralen Ausbau erneuerbarer Energiequellen mit steuerbarer Lasten und Speichern (z.B. Elektromobilität) wird die Regelung von Energiesystemen immer komplexer. Gleichzeitig soll der Ausbaubedarf des Stromnetzes auch möglichst geringgehalten werden. Unser Lösungsansatz dieser Herausforderung ist die Einteilung des Energienetzes in regionale Zellen. Jede Zelle besitzt unterschiedliche Teilnehmer und Eigenschaften und führt dezentral Last-, Einspeisemanagement und Vermarktung durch. Wir entwickeln adaptive KI-Verfahren, die die Regelung des individuell vorliegenden Energienetzes erlernen. Die Regelung von verteilten Erzeugenden sowie Verbraucherinnen und Verbrauchern erfordert gleichzeitig eine Kommunikationsinfrastruktur, die benötigte Datenraten, Antwortzeiten und Ressourcen für unterschiedliche viele Teilnehmende zur jeder Situation (z.B. Staus, Altstadtfest) bereitstellt. Der 5G-Standard stellt durch »5G Network Slicing« eine dynamische und ortsbe-

zogene Zusicherung von Dienstgütegarantien zur Verfügung. Wir entwickeln Prognoseverfahren, um Kommunikationsanforderungen von Ereignissen im Stromnetz frühzeitig zu erkennen. Hierdurch können »5G Network Slicing« regional so gewählt werden, dass benötigte Kommunikationsressourcen für die Steuerung des elektrischen Netzes vor Ort bereitgestellt werden.

GEOS – Goldbeck Energieoptimierungssystem

(Bereich Optimierung)

Mit der Goldbeck Bau AG, Bielefeld, entsteht eine Software zur Auslegung der Energieversorgung (Wärme, Kälte, Kraft) von Industriebauten, öffentlichen Bauten und Liegenschaften unter besonderer Berücksichtigung der energetischen Effizienz und des CO₂-Footprints. Grundlegend sind einfache wissens- und datenbasierte Modelle der in Frage kommenden Energieerzeugungs- und Speicherformen, die Kubatur des Gebäudes, die klimatischen Randbedingungen des Standorts sowie synthetische Lastgänge des Energiebedarfs. Mit Hilfe einer vereinfachten Simulation des Zusammenspiels der energetischen Komponenten wurde eine simulationsbasierte Optimierungssuite zur interaktiven Entscheidungsunterstützung der energetischen Auslegung entwickelt. Im Ergebnis entstehen Pareto-optimale Lösungsvorschläge, die CO₂-Footprint, Betriebs- und Investitionskosten und Komfort in ausgewogener Weise berücksichtigen. Die Software unterstützt Verkaufs- und Planungsingenieure im Kundendialog und Planung.

SolarPlanner

(Bereich Optimierung)

Mit goldbecksolar, Hirschberg (Bergstraße), entsteht eine umfassende Planungssoftware zur Auslegung von großen Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen. Die Basis bildet eine vollständige parametrische Abbildung gängiger PV-Technologien, elektrotechnischer Prinzipien zur Auslegung solcher Anlagen und Geschäftsmodelle des Betriebs. Die Software liefert eine vollständige Simulation von Erträgen und Kosten von PV-Anlagen für eine wählbare Abschreibungszeit und parametrierbare Einspeisevergütungen unter Berücksichtigung lokaler Wetterdaten und deren Schwankung. Im Ergebnis entstehen ausgewogene Pareto-optimale Vorschläge im Hinblick auf Baukomplexität, Ertragssicherheit und Return-on-Invest. Mit der

Software können innerhalb kürzester Zeit angebotsfähige Stücklisten und alle für die Bewertung der Vorschläge relevanten Informationen ermittelt werden. Die Software dient in der Endausbaustufe dem Verkauf zur Diskussion guter Lösungsvorschläge im Kundendialog und den Feinplanern als wesentliche Planungshilfe zur Verkürzung der technischen Planung.

„DYNEEF - Dynamische Netzsimulation zur Effizienzsteigerung und Emissionsreduzierung in der Fernwärmeerzeugung“

(Abteilung TV)

Laufzeit: 01.1.2015 – 31.12.2018; Fördermittelgeber: BMWi

Im BMWi geförderten Projekt DYNEEF arbeitete das Fraunhofer ITWM gemeinsam mit der GEF Ingenieur AG und den Technischen Werken Ludwigshafen (TWL) an der „Dynamischen Netzsimulation zur Effizienzsteigerung in der Fernwärmeerzeugung“. Im Rahmen dessen wurde ein Softwaretool zur Netzwerksimulation entwickelt, getestet und für die Betriebsoptimierung der TWL bereitgestellt. Fernwärmenetze dienen der Versorgung mit Wärme und Warmwasser. Die Betreiber von Fernheizkraftwerken (FHKW) erwirtschaften einen Teil ihres Erlöses durch den Verkauf von Strom, der durch Kraft-Wärme-Kopplung parallel zur Wärmeerzeugung anfällt. Die Einbeziehung und dynamische Regelung des Fernwärmenetzes als Energiespeicher hilft, Turbinen effizient zu betreiben und vorhandene Speicherkessel optimal einzusetzen. Gegenwärtige Software zur Betriebsunterstützung von FHKWs beschäftigt sich entweder mit dem optimalen Einsatz der lokalen Betriebsmittel – wobei das Fernwärmenetz nur als strukturlose Senke behandelt wird – oder die Software betrachtet fein orts aufgelöste hydro-thermische Modelle des Leitungsnetzes, um die Versorgung aller Kunden zu garantieren. Dies geschieht meist jedoch ohne die Simulation in ein Gesamtbild mit schwankenden Betriebsbedingungen einzubinden. Die im Projekt entwickelte dynamische Simulation des Fernwärmenetzes hat enorme Vorteile: Der Netzbetreiber kann mithilfe der Software zu jeder Zeit sowohl die Temperatur, den Druck als auch die Massenströme an jedem Ort im Fernwärmenetz auslesen. Damit kann er die am Kraftwerk bereitgestellte Vorlauftemperatur und den in das Netz gepumpten Massenfluss regeln und verhindert so beispielsweise, dass zusätzliche Turbinen zur Wärmeproduktion teuer zugeschaltet werden müssen. Nach der mathematischen Modellierung und Simulation kleinerer Insel- und Teilnetze wurde das Softwaretool auch auf das gesamte Fernwärmenetz der TWL angewendet. Neben dem Fernwärmenetz in Ludwigshafen wurde vom Fraunhofer ITWM mit dem neuen Softwaretool auch

eine Auftragsstudie zu einem Fernwärmenetz in Sachsen erarbeitet. Es wurden Regelkonzepte vorgeschlagen, die gerade in den jährlichen Übergangszeiten (Frühling und Herbst) das Zuschalten sehr teurer Ölturbinen verhindern. Den Stadtwerken beschert diese Regelung einen wirtschaftlichen Gewinn, CO₂ – Emissionen werden verringert und die Umwelt wird geschont.

„MathEnergy: Regelungskonzepte für Energienetze der Zukunft“

(Abteilungen SYS und TV)

Laufzeit: 01.10.2016 – 30.04.2021; Fördermittelgeber: BMWi

Im Fokus der Energiewende stehen gegenwärtig unter anderem Stromerzeugung, Übertragung und Elektromobilität. Im Hinblick auf eine CO₂-neutrale Energieversorgung muss der Blick aber weiter gefasst werden, denn der Energiekreislauf umfasst Erzeugung, Umwandlung, Transport, Speicherung und Verbrauch in Strom-, Gas- und Wärmenetzen. Unabhängig vom Energiemedium gibt es eine Reihe wiederkehrender mathematischer und informationstechnischer Grundprobleme bei der Modellierung, Simulation und Steuerung bzw. Regelung hierarchischer Energienetze mit stochastischer Erzeugung und Verbrauch. Zur Lösung dieser Probleme wurden im BMWi-Projekt MathEnergy nun gebündelte Methoden entwickelt, in einer Softwarebibliothek zusammengeführt und bei mehreren Demonstratoren aus den Bereichen Gas und Strom sowie deren Kopplung angewendet. Unterteilt ist das Projekt in die Segmente Gesamtnetzmodellierung, Modellordnungsreduktion, Szenarienanalyse, Zustandsschätzung und Regelung, Gesamtintegration und Demonstratoren. Im Rahmen des Projektes ist die Modellreduktion ein Arbeitsschwerpunkt des Fraunhofer ITWM im Bereich der Stromnetze. Dabei geht es z.B. darum, Regler mit hinreichend schnellen wie genauen Netzmodellen auszurüsten oder für dynamische Analysen eines Netzausschnitts dessen Peripherie durch intelligente Randbedingungen darzustellen. Die besonderen Herausforderungen sind Nichtlinearitäten, per Schaltung geänderte Netztopologien und unsichere Parametrierungen. Weiterhin werden vom Fraunhofer ITWM netzübergreifende, modellbasierte Monitoring- und Regelungskonzepte für die Planung und den Betrieb des elektrischen Transport- und Verteilnetzes erarbeitet. Ausgangspunkt für die modellbasierte optimale Regelung der Einspeisung und Entnahme von Strom oder Gas ist die Ermittlung der aktuellen Systemzustände des zu Grunde liegenden mathematischen Modells basierend auf Messdaten. Die entwickelten echtzeittauglichen Tools zur Zustandsschätzung werden dann in Reg-

lerbausteine zur netzebenenübergreifenden Koordination mittels modellprädiktiver Regelung eingesetzt.

„EiFer - Energieeffizienz durch intelligente Fernwärmenetze“

(Abteilung TV)

Laufzeit: 01.01.2018-31.12.2021; Fördermittelgeber: BMBF

Im Verbundprojekt EiFer wird ein auf neuen mathematischen Methoden basierendes Systemmodell für ein Fernwärmenetz erarbeitet, implementiert sowie Simulations-, Regelungs- und Optimierungsmethoden entwickelt. Prototypisch wird dieses Konzept und eine entsprechende Demonstrationssoftware in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner, den Technischen Werken Ludwigshafen, aufgebaut und erprobt. Das Ziel der Regelung und Optimierung in EiFer ist die Minimierung des Einsatzes der Zusatzbefuerung mit Erdgas und die effiziente Nutzung von Wärme. Dazu soll das Fernwärmenetz als intelligenter Wärmespeicher genutzt werden, der zum einen Schwankungen am Strommarkt (beispielsweise durch die Aufnahme negativer Regelleistungen) ausgleichen kann, ohne dass die Versorgungssicherheit mit Wärme gefährdet wird, und zum anderen auf Schwankungen bei der Wärmenachfrage reagiert, ohne dass zusätzlich Wärme produziert werden muss. Eine Grundvoraussetzung dafür ist die dynamische Simulation des Fernwärmenetzes. Eine dynamische Prozessführung stellt sowohl technisch als auch mathematisch eine große Herausforderung dar, die nur in einem Team in enger Zusammenarbeit mit dem Industriepartner realisiert werden kann. Unterschiedliche Kompetenzen aus Modellierung, Numerik, Optimierung und Regelung müssen zusammengebracht werden. Auf der Seite der Modellierung werden für die Wärmenetze gekoppelte eindimensionale inkompressible Navier-Stokes- und instationäre Wärmeleitungsgleichungen verwendet. Die notwendigen Parameter, wie z.B. Rohrrauigkeiten oder Wärmeübergangskoeffizienten, sind zum Teil nur näherungsweise bekannt. Mithilfe einer Sensitivitätsanalyse wurde untersucht, wie diese Parameter das Lösungsverhalten des Fernwärmenetzes beeinflussen. Des Weiteren wurde ein neuartiges energiebasiertes Modell in Form eines port-Hamiltonischen Systems basierend auf einer Dirac-Struktur realisiert. Die Modellierung über einen port-Hamiltonischen Ansatz für die (nach Ortsdiskretisierung) zugrunde liegenden differential-algebraischen Gleichungen hat gegenüber klassischen Modellierungsansätzen zahlreiche Vorteile: Durch die energiebasierte Formulierung werden die unterschiedlichen Skalen auf eine Ebene gebracht, der port-Hamiltonische Charakter vererbt

sich bei der Verkopplung von Einzelsystemen, die Modelle realisieren die zugrunde liegenden physikalischen Grundprinzipien (Stabilität, Passivität, Energie- und Impulserhaltung, etc.) auf ideale Weise in den algebraischen und geometrischen Strukturen des mathematischen Modells, eine Modellreduktion mithilfe von angepassten Galerkin-Projektionen erhält diese Eigenschaften und die Systemmodelle sind durch Hinzufügen weiterer Komponenten einfach erweiterbar. Die beiden letzten Eigenschaften sind für die Optimierung und Regelung von entscheidender Bedeutung, da sie die Formulierung einer Hierarchie von Optimierungsmodellen ermöglichen, die für die Entwicklung effizienter adaptiver Verfahren genutzt werden kann.

„EHFo - Energieeffiziente Hochtemperaturprozesse durch Formoptimierung“
(Abteilung TV)

Laufzeit: 01.01.2018-30.06.2021; Fördermittelgeber: BMBF

Hochtemperaturprozesse sind immer mit extremen thermischen Verlusten verbunden, so dass sich in diesem Bereich ein mächtiger Hebel zur Energie-, CO₂- und Kosteneinsparung ergibt. Mathematische Modellierung, Simulation und Optimierung sollen dieses riesige Potential nutzbar machen und gewährleisten, dass Energie nur dort aufgewendet wird, wo sie notwendig ist, und thermische Verluste minimiert werden. Gerade bei Hochtemperaturprozessen, bei denen Strahlung eine große Rolle spielt, ist eine Formoptimierung der Anlagengeometrie wichtig. Zum einen weil thermische Verluste maßgeblich über die Oberfläche stattfinden und zum anderen weil Strahlung und damit Energieausbreitung durch Reflexion an der Oberfläche gesteuert werden kann. Im Verbundprojekt EHFO werden Methoden zur Auslegung von Hochtemperaturprozessen entwickelt. Das Vorgehen wird exemplarisch an einem typischen Hochtemperaturprozess aus der chemischen Industrie durchgeführt und validiert. Dabei wird eine Energieeinsparung von mindestens 20 % angestrebt. Der Multiplikator und damit ein relevanter Beitrag zur Energiewende ergibt sich durch die einfache Übertragbarkeit der entwickelten Methoden auf eine Vielzahl anderer Prozesse aus allen Bereichen der Hochtemperatur-Industrie. Dazu werden die Methoden nach Abschluss des Projektes am Fraunhofer ITWM zu einem modularen Werkzeug für die Formoptimierung von Hochtemperaturprozessen weiterentwickelt und kommen über das Fraunhofer-Netzwerk einem breiten Anwenderkreis zu Gute. Um die Wirksamkeit der Effizienzsteigerung von Hochtemperatur-Industrieprozessen durch mathematische Methoden zu demonstrieren, wird im Verbundpro-

jekt der Kammerofenprozess des Anwendungspartners ICL betrachtet, der unter hohem Energiebedarf Polyphosphate herstellt, die unter anderem in der Lebensmittelindustrie als Komplexbildner oder Stabilisatoren verwendet werden. Für die Modellierung ist ein komplexes Multiphysik-Modell unter Einbeziehung von Wärmetransport und Strahlung, turbulenter Strömung, chemischen Reaktionen und Phasenübergängen notwendig. Basierend auf diesem Modell wird sowohl die Ofengeometrie mit Methoden der Formoptimierung neu ausgelegt als auch die Positionierung des Gasbrenners optimiert, um damit eine bessere Prozesseffizienz und so eine deutliche Energieeinsparung zu erreichen. Da der Wärmetransport bei hohen Temperaturen maßgeblich über Strahlung stattfindet, erhält die Behandlung von Strahlungsproblemen einen besonderen Stellenwert im Verbundprojekt, was spezielle Herausforderungen sowohl an die Simulations- als auch an die Optimierungsmethoden stellt. Um eine Optimierung des komplexen Gesamtmodells zu ermöglichen, werden auf Modellhierarchien basierende Verfahren wie Space Mapping eingesetzt. Die entwickelten Methoden lassen sich später auf eine Vielzahl ähnlicher Hochtemperaturprozess, insbesondere aus dem Bereich der chemischen Industrie und der Glasproduktion, übertragen.

Fraunhofer-IMM MAINZ

Anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Energietechnik stellen einen zentralen Leistungsbereich des Fraunhofer IMM in Mainz dar. Der Geschäftsbereich Energie des Fraunhofer IMM beschäftigt sich mit den aktuellen und zukünftigen Fragestellungen zur mobilen und dezentralen Bereitstellung und Speicherung elektrischer Energie mit verstärktem Augenmerk auf nachhaltige Energieträger. Die Aktivitäten ordnen sich unmittelbar in das Fraunhofer Strategische Forschungsfeld „Wasserstofftechnologien“ ein, fördern die Dekarbonisierung der Industrie und zielen zunehmend auf eine CO₂-Neutralität in den Prozessen. Dabei baut Fraunhofer IMM auf ein starkes Fundament, den Einsatz mikrostrukturierter Plattenwärmeübertrager, ein Portfolio hochaktiver, langzeitstabiler und robuster Katalysatoren sowie etablierte Fertigungstechnologien, die auch die Realisierung größerer Stückzahlen erlauben. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des Fraunhofer IMM decken die gesamte Technologieketten in den Bereichen Systemdesign, Prozesssimulation, Katalysatorentwicklung, Standzeittests, Reaktorkonstruktion, Entwicklung kostengünstiger Fertigungstechnologien, Systemsteuerung, Systemintegration und Systemtest ab. Neben der Entwicklung einzelner Komponenten und kompletter Reformersysteme zur Wasserstoffbereitstellung für alle Arten von Brennstoffzellen aus konventionellen und regenerativen Brennstoffen liegen aktuelle Forschungsschwerpunkte in den Bereichen Abgasreinigung,

Power-to-Gas, Methanisierung, Wärme-/Kältemanagement und Biotreibstoffsynthese sowie Einsatz von Ammoniak als Energieträger.

Projektbeispiele

Innovative Blockheizkraftwerk (BHKW) – Konzepte:

Die Suche nach einer effizienten und dabei auch noch möglichst ökologischen und perspektivisch wenigstens CO₂-neutralen Strom- und Wärmeversorgung beschäftigt vom Besitzer eines Einfamilienhauses über die Planer*in für ganze Wohnsiedlungen bis hin zu Unternehmen nahezu alle. Das als Prototyp realisierte Konzept des Fraunhofer IMM Brennstoffzellen Blockheizkraftwerks (BHKW) verspricht nach erfolgreichem Probetrieb eine entsprechende Lösung im Maßstab kleiner Wohnsiedlungen. Mit bis zu 50 kWel und einer Gesamteffizienz des Blockheizkraftwerks größer 95 % steht eine Technologiebasis zur Verfügung, deren Systemeffizienz deutlich weniger vom aktuell betriebenen Lastszenario abhängt, als dies bei Nutzung von Verbrennungsmotoren im klassischen BHKW der Fall ist. Zudem sinken die Wartungsanforderungen durch den weitgehenden Verzicht auf bewegliche Teile. Auch wenn aktuell Erdgas aus dem Leitungsnetz Verwendung finden soll, so ist durch Anbindung an eine Biogasanlage CO₂-Neutralität problemlos erreichbar.

Wasserstofftechnik:

Die Entwicklungsarbeiten des Fraunhofer IMM beinhalten die Konzeption und Integration der Systemkomponenten inklusive der Prozessteuerung, Tests bis in den Pilotmaßstab und – je nach Aufgabenstellung – auch die Entwicklung stabiler Katalysatoren für die einzelnen Schritte des Reformierprozesses. Zusätzlich kümmert sich Fraunhofer IMM um alle Aspekte der Fertigungstechnik für die Komponenten. Zentrale Leistungsparameter in den Projekten des Fraunhofer IMM umfassen die folgenden Punkte: Einsatzmöglichkeit für alle konventionellen und regenerativen Brennstoffe wie Erdgas, Methanol, Ethanol, Flüssiggas, Benzin und Diesel, aber auch Polyalkohole, die als Nebenprodukte der Biodieselerzeugung entstehen oder als Kühlmittel Verwendung finden; Abdeckung des Leistungsbereiches von 100 W bis zu 100 kW; Abdeckung der Anlagensteuerung; Integration der Brennstoffzelle.

Biotreibstoffe:

Im Rahmen der Entwicklung integrierter Bioraffineriekonzepte erforscht Fraunhofer IMM Konzepte zur Erzeugung von Basischemikalien wie Methanol und höheren Alkoholen sowie zur Synthese von Treibstoffen aus regenerativen Energiequellen mittels des Methanol-to-Gasoline Prozesses. Im letzteren Fall werden aus Pyrolyseöl und Biogas zunächst Methanol und dann Benzinkomponenten synthetisiert. Die eingesetzte Plattenwärmeübertragertechnik ermöglicht die Intensivierung der Prozesse und die Verbesserung der Wärmeintegration der avisierten dezentralen Anlagentechnik. Gleich ob bestehende Prozesse intensiviert werden sollen oder erstmals darüber nachgedacht werden soll, Abfallstoffe für die Energieerzeugung einzusetzen, das Fraunhofer IMM entwickelt die passende Lösung.

Wärme- und Kältemanagement:

Fraunhofer IMM verfügt über ein Portfolio laserverschweißter und gelöteter Komponenten und Konzepte für die Wärmeübertragung zwischen Gasströmen sowie für Verdampfungs- und Kondensationsprozesse, die sehr hohe Betriebstemperaturen und -drücke erlauben. Die erstellten Funktionseinheiten überzeugen durch ihre Kompaktheit und ihre Effizienz der Wärme- und Kältemanagement-Lösungen. Darüber hinaus verfügt Fraunhofer IMM über Technologien zur Erwärmung/Verdampfung von Gasen und Flüssigkeiten mittels elektrischer Energie. Abhängig vom Anwendungsfall können am Fraunhofer IMM Wärmeübertragerkomponenten für Betriebstemperaturen zwischen -250 °C und 950 °C realisiert werden. Der maximale Gasdurchsatz hängt vom erlaubten Druckabfall ab und kann mehrere 100 Kubikmeter pro Stunde betragen. Wärmeübertragungsleistungen bis zu 100 kW und spezifische Wärmeübertragungsflächen bis zu 2.400 Quadratmeter/Kubikmeter sind typische Parameter, welche die Effizienzsteigerung von Prozessen fördern.

Power-to-Gas:

Basierend auf einem Erfahrungshintergrund von über 20 Jahren in der Katalysator- und Reaktorentwicklung für eine Vielzahl von Reaktionen (Brennstoffaufbereitung, Verbrennung, Brennstoffsynthese und viele andere) treibt Fraunhofer IMM verschiedene Projekte voran. Langzeittests der am Fraunhofer IMM erstellten Katalysatoren haben die hohe Selektivität

und Stabilität sowie die starke Beständigkeit gegen Spuren von schwefelhaltigen Verbindungen nachgewiesen. Die Robustheit der Plattenwärmeaustauscher-Reaktortechnologie des Fraunhofer IMM hat sich in der Praxis unter den Bedingungen von Start-up, stationärem Betrieb und Lastwechseln für eine Vielzahl von Anwendungen bewährt. Die eingesetzte Technologie eignet sich für den Bau modularer Anlagen, die sich leicht mit anderen Kohlendioxidquellen koppeln lassen und somit deren Montage, Installation und späteren Betrieb erleichtern.

Reformersysteme:

Im Bereich der Brennstoffaufbereitung und -synthese entwickelt das Fraunhofer IMM gemeinsam mit und für seine Kunden und Partner Komplettlösungen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab und weiter bis zur Serienreife. Die Expertise des Fraunhofer IMM umfasst verfahrenstechnische Prozessmodellierungen, Optimierung der Wärmeintegration, Konzeption der Reaktoren und Peripheriekomponenten (Verdampfer, Wärmeübertrager, Kondensatoren), Auslegung bzw. Auswahl der Reaktoren und Komponenten (Verdampfer, Wärmeübertrager, Kondensatoren, Pumpen, Gebläse, Ventile), Auslegung der Reaktoren und Komponenten, Aufbau von Prototypen bzw. Nullserien, Integration des Komplettsystems, Tests an Einzelkomponenten, Entwicklung der Systemsteuerung sowie Tests an Komplettsystemen bis in den Pilotmaßstab.

Abgasreinigung:

Die am Fraunhofer IMM verfügbare Technologie erlaubt integrierte Kühlfunktionen und hocheffiziente, maßgeschneiderte Wärmeübertrager zur Kontrolle der exothermen Prozesse mit der Folge der Verbesserung des dynamischen Betriebes mobiler Abgasreinigungssysteme. Es liegt im Bereich der Reformiertechnik langjährige Expertise in der Entfernung von Kohlenmonoxid aus dem Reformatstrom mittels Wasser-Gas Shift, präferentieller (selektive) Oxidation von Kohlenmonoxid, selektive Methanisierung sowie der Entfernung kritischer (toxischer) Substanzen aus Abgasströmen durch katalytische Verbrennung vor. Eine selbstentwickelte, robuste, langzeitstabile Katalysatortechnik, das Know-how und die Erfahrung im Reaktordesign (auch im kW Maßstab) und die Integration der Reaktoren in komplette Reformersysteme führen zu innovativen Lösungen in unseren Projekten.

Katalyse:

Fraunhofer IMM entwickelt und verfügt über Katalysatoren und katalytische Beschichtungen für Mikrostrukturen, die optimal an den Reaktortyp und die Skalierung von Prozessen angepasst sind. Neben der Neuentwicklung von Katalysatoren gehört die Optimierung bestehender Katalysatorformulierungen im Hinblick auf Selektivität und Aktivität zum Projektgeschäft des Fraunhofer IMM, ebenso wie die Stabilisierung der Katalysatoren für den robusten Einsatz in der realen Prozessumgebung.

3.7 Das Land als Vorbild

Anhang 3: Biomasseanlagen in LBB-Liegenschaften

	Liegenschaft	Ort	Baujahr	Leistung kW	Bemerkungen
1	ForstA Wasgau	Dahn	2003	80	Pellets
2	ForstA Hillesheim	Hillesheim (Kr. Daun)	2004	30	Pellets
3	ForstA Gerolstein	Gerolstein	2004	30	Pellets
4	ForstA Haardt LD	Landau	2005	45	Pellets
5	ForstA Adenau	Adenau	2005	45	Pellets
6	ForstA Rhaunen-Neubau	Rhaunen	2005	23	Pellets
7	ForstA Bad Sobernheim	Bad Sobernheim	2006	25	Pellets
8	FBZ Hachenburg (SGD Süd)	Hachenburg	2006	150	Pellets
9	ForstA Westrich	Pirmasens	2007	45	Holzhack-schnitzel
10	DLR Rheinpf. NW-Mußbach Weinb.	Neustadt-Mußbach	2007	920	Holzhack-schnitzel
11	ForstA Saarburg	Saarburg	2008	35	Holzpellets
12	JVA Diez	Diez	2009	800	Holzhack-schnitzel
13	ForstA Hermeskeil	Hermeskeil	2009	100	Holzhack-schnitzel
14	ForstA Bad Dürkheim	Bad Dürkheim	2010	40	Holzpellets
15	Diensleistungszentrum Neustadt (DLR)	Neustadt/Mußbach	2011	30	Tresterpellets
16	Blindenschule Neuwied	Neuwied	2011	520	Pellets
17	JSA Schifferstadt	Schifferstadt	2011	300	Pellets
18	Forstamt Kandel	Kandel	2012	50	Pellets
19	Polizei Autobahnstation	Schweich	2012	20	Pellets
20	Forstamt	Dhronecken	2012	20	Pellets
21	Forstamt	Rennerod	2013	35	Pellets
22	JVA Rohrbach, Außenstelle Wonsheim	Wonsheim	2014	100	Pellets
23	Universität Koblenz-Landau, Campus Landau	Landau	2015	300	Pellets
24	Hochschule Trier, Scheidershof	Trier	2015	800	Pellets
25	ForstA Hinterweidenthal	Hinterweidenthal	2016	40	Pellets
26	ForstA Rhaunen-Altbau	Rhaunen	2016	40	Pellets
27	Polizei Autobahnstation Ruchheim	LUD-Ruchheim	2016	40	Pellets

4.663

Anhang 4: Solarthermieranlagen in LBB-Liegenschaften (inkl. Hochschulen)

Nr.	Liegenschaft	Ort	Inbetriebnahme	Kollektorfläche m ²	Kollektortyp
1	Fachhochschule Trier	Birkenfeld	01.12.2000	260,0	Flachkollektoren
2	Polizeiinspektion	Neustadt	2003	12,0	Flachkollektoren
3	Universität Kaiserslautern, Gebäude 4 (Kindertagesstätte)	Kaiserslautern	17.02.2005	11,0	Flachkollektoren
4	Universität Kaiserslautern, Gebäude 28 (Sporthalle)	Kaiserslautern	17.02.2005	11,0	Flachkollektoren
5	Universität Kaiserslautern, Gebäude 30 (Mensa)	Kaiserslautern	17.02.2005	39,6	Flachkollektoren
6	Universität Koblenz, Gebäude D (Mensa)	Koblenz	18.03.2005	17,6	Flachkollektoren
7	Universität Koblenz, Gebäude H (Sporthalle)	Koblenz	18.03.2005	17,6	Flachkollektoren
8	Fachhochschule Trier, Sporthalle	Trier	01.04.2005	30,5	Flachkollektoren
9	Forstliches Bildungszentrum	Hachenburg	01.08.2005	22,1	Flachkollektoren
11	Deutsche Hochschule für Verwaltungswissenschaften	Speyer	01.09.2005	30,0	Flachkollektoren
12	Bereitschaftspolizei	Mainz	26.06.2006	32,6	Flachkollektoren
13	Justizvollzugsanstalt	Koblenz	01.08.2006	27,8	Flachkollektoren
14	Universität Mainz-Germersheim	Germersheim	10.08.2006	21,0	Flachkollektoren
15	Universität Koblenz-Landau	Landau	15.09.2006	52,6	Flachkollektoren
16	Polizeiinspektion	Wörth	18.10.2007	16,0	Flachkollektoren
17	Justizvollzugsanstalt ZW	Zweibrücken	01.11.2007	180,0	Flachkollektoren
18	Forstdienstgebäude Büchelberg	Büchelberg	01.11.2009	7,1	Flachkollektoren
19	Polizeiinspektion Oppau	LU-Oppau	07.10.2010	23,7	Flachkollektoren
20	Universität Koblenz Gebäude M	Koblenz	01.11.2011	50,0	Röhrenkollektoren

Summen **862,2**

Anhang 5: Fotovoltaikanlagen (LBB-Liegenschaften ohne Hochschulen)

Nr.	Liegenschaft	Ort	Inbetriebnahme	Installierte Leistung kW _{peak}	Installierte Modulfläche m ²
1	Minist. MUF_AMDG_MWVLW	Mainz	04.08.2003	56,2	464
2	BehH KH LBB NL_ArbG_StaAnw	Bad Kreuznach	21.10.2004	25,1	198
3	DLR Rheinpf. NW-Mußbach Weinb.	Neustadt/Weinstraße	24.11.2004	150,8	1.314
4	DLR Rheinpf. NW-Mußbach Weinb. Verschatt.anl.	Neustadt/Weinstraße	24.11.2004	11,6	114
5	PI 1, K'lautern	Kaiserslautern	28.11.2004	11,6	91
6	BehH Diez LBB LSV PI	Diez	08.12.2004	36,0	274
7	FinA Kaiserslautern	Kaiserslautern	15.12.2004	27,7	219
8	DLR RNH Oppenheim Wormser Str.162	Oppenheim	28.12.2004	49,0	395
9	Landesbetrieb Mobilität, Kaiserslautern	Kaiserslautern	30.12.2004	38,1	285
10	ASA LD	Landau	01.06.2005	21,4	171
11	Gehörlosenschule TR	Trier	01.08.2005	39,0	530
12	SozialG Speyer	Speyer	15.08.2005	18,5	138
13	Rechnungsh. RLP SP	Speyer	15.08.2005	20,7	153
14	BePo Mainz 1. Bauabschnitt Dachfläche Nord	Mainz	19.10.2005	116,6	875
	BePo Mainz 2. Bauabschnitt Dachfläche Süd	Mainz	19.10.2005	87,3	657
	BePo Mainz 3. Bauabschnitt Steildach	Mainz	09.12.2005	48,3	364
15	Minist. FM/MWVLW	Mainz	21.12.2005	43,9	327
16	LPS RLP Hahn	Hahn-Lautzenhausen	23.12.2005	126,6	944
17	PP Westpfalz	Kaiserslautern	30.12.2005	14,5	130
18	Heinrich-Heine-Gymn. KL	Kaiserslautern	30.12.2005	49,0	441
19	JVA Rohrbach	Wöllstein	20.12.2006	122,1	911
20	LBM KL/Dahn-BZA Bad Bergzab.	Bad Bergzabern	22.12.2006	14,0	110
21	PI Kirn	Kirn	12.03.2007	10,8	83
22	SGD Süd ForschAnst. f. Waldökol. Trippst.	Trippstadt	15.07.2007	16,2	156
23	Landesfeuerwehersch, KO-A'stein	Koblenz	22.08.2007	53,9	394
24	DLR RNH KH	Bad Kreuznach	30.11.2007	33,7	253
25	Staatl. Aufbaugymn. Neuerburg	Neuerburg	03.12.2007	9,8	203
26	BehH FinA MZ-Süd_Geol.LA_LUACHem.	Mainz	06.12.2007	26,5	200
27	AQS ehem. Eichdirektion	Bad Kreuznach	01.12.2008	14,7	115
28	Institut für schulische Fortbildung (IFB)	Speyer	15.12.2008	102,7	782
29	JVA Wittlich	Wittlich	10.12.2008	100,6	1.457
30	Polizeiinspektion Germersheim	Germersheim	01.11.2009	29,9	287
31	Hauptjustizgebäude Koblenz	Koblenz	23.11.2009	27,7	586
32	Finanzamt Trier	Trier	31.12.2010	22,1	268
33	Pädagogisches Zentrum	Bad Kreuznach	31.12.2010	18,4	131
34	PI/Katasteramt Bad Kreuznach	Bad Kreuznach	31.12.2010	17,3	196
35	Blindenschule Neuwied	Neuwied	31.12.2010	13,0	297
36	Autobahnpolizei Gau-Bickelheim	Gau-Bickelheim	21.07.2011	18,8	129
37	Jugendstrafanstalt Schifferstadt	Schifferstadt	10.08.2011	268,6	2.061
38	Forstliches Ausbildungszentrum	Hinterweidental	27.09.2012	29,7	201
39	Polizeiinspektion Edenkoben	Edenkoben	19.12.2013	16,2	106
40	Struktur- und Genehmigungs-direktion Süd, Neustadt	Neustadt/Weinstraße	02.04.2014	22,5	149
41	Polizeiinspektion Edenkoben	Edenkoben	19.12.2013	16,20	106,4
42	LSJV Landau, Solar-Carport	Landau	07.07.2015	13,77	86,4
43	Justizzentrum Bad Kreuznach	Bad Kreuznach	15.08.2016	52,25	321,6
44	Finanzhochschule Edenkoben	Edenkoben		11,40	64,4
45	SGD-Süd, Deichmeisterei Speyer	Speyer	10.10.2016	20,80	128,0
46	Landesuntersuchungsamt Trier	Trier	24.10.2016	16,50	101,5
Summe				2.112,02	17.967,3

Anhang 6: Stromertrag der Fotovoltaikanlagen (LBB-Liegenschaften ohne Hochschulen)

Stromertrag Fotovoltaik kWh/a								
2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
38.694	54.383	548.094	1.049.363	1.220.082	1.327.505	1.511.170	1.571.718	1.867.747
2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
1.935.131	1.953.094	2.012.990	2.108.005	2.147.910	2.238.634	2.140.969	2.075.681	

Anhang 7: Fotovoltaikanlagen (LBB-Liegenschaften; Hochschulen)

Nr.	Liegenschaft	Ort	Inbetriebnahme	Installierte Leistung kW _{peak}	Installierte Modulfläche m ²
1	FH Trier, Schneidershof	Trier	01.12.2004	34,0	254
2	Universität Landau	Landau	15.12.2004	37,9	947
3	FH Ludwigshafen	Ludwigshafen	07.07.2005	11,5	82
4	FH Worms	Worms	19.10.2005	71,6	479
5	Universität Koblenz-Metternich	Koblenz	15.12.2005	66,5	471
6	DHV Speyer Wohnheim alt	Speyer	10.11.2006	37,8	266
7	DHV Speyer Institutsgeb.	Speyer	31.08.2009	29,7	173
8	FH Trier, Birkenfeld	Birkenfeld	09.09.2009	485,8	4.610
9	Universität Mainz, Sporthalle	Mainz	20.12.2009	113,4	1.089
10	Universität Mainz, Bauleitung	Mainz	10.08.2010	11,6	88,6
11	Universität Mainz, Physik. Chemie - Fassadenanlage	Mainz	29.06.2011	9,57	102,4
12	Fachhochschule Trier, Birkenfeld Kommunikationszentrum	Birkenfeld	07.07.2011	45,50	324,0
13	Universität Mainz, Anthropologie	Mainz	29.12.2011	12,24	259,2
14	Universität Mainz, Sozialwissenschaften	Mainz	15.07.2012	67,44	459,9
15	Fachhochschule Worms, Kindertagesstätte	Worms	07.04.2014	16,9	110
16	Fachhochschule Kaiserslautern Gebäude F	Kaiserslautern	12.05.2016	37,00	252,3
17	Fachhochschule Kaiserslautern Gebäude E	Kaiserslautern	26.01.2017	89,25	608,6
18	Fachhochschule Kaiserslautern Gebäude G	Kaiserslautern	18.05.2017	29,90	203,9
Summen				1.207,6	10.779,9

Anhang 8: Stromertrag der Fotovoltaikanlagen (LBB-Liegenschaften; Hochschulen)

2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
75.677	211.607	244.092	236.546	237.594	792.663	906.868	921.370
2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
942.368	960.150	980.170	1.014.758	1.175.221	1.224.153	1.186.822	

Anhang 9: Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) in LBB-Liegenschaften (inkl. Hochschulen)

	WE-Text	Leistung elektr. (kW)	Wärmeleistung (kW)	Baujahr	Bezeichnung
1	PI Remagen	5	12,3	2005	BHKW
2	PI Bendorf	5	12,3	2005	BHKW
3	FAWF Trippstadt	5,5	12,5	2005	BHKW
4	JVA Trier	50	81	2006	BHKW
5	Bereitschaftspolizei Mainz	50	97	2007	BHKW
6	FinA Mz-Süd / Geol.LA / Chem.UA	50	97	2007	BHKW
7	JVA Trier-Außenst. Saarburg	5,5	12,5	2007	BHKW
8	PI Hachenburg	5	12,3	2007	BHKW
9	PI Altenkirchen	5	12,3	2007	BHKW
10	Uni KO-LD LD Campus Im Fort	50	97	2007	BHKW
11	Peter-Altman-Gymn.Mtbr.	50	97	2009	BHKW
12	Polizeiinspektion ZW	5,5	12,5	2010	BHKW
13	Gehörlosenschule Trier	5,5	12,5	2010	BHKW
14	Blindenschule Neuwied	50	81	2010	BHKW
15	JSA Schifferstadt	50	81	2010	BHKW
16	Fachhochschule Koblenz	50	97	2010	BHKW
17	Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzschule	50	81	2011	BHKW
18	ehem.Gesundheitsamt / Landgericht Zweibrücken	1	6	2011	BHKW Stirling - Motor
19	Landesuntersuchungsamt	50	81	2012	BHKW
20	DLR Oppenheim	50	81	2013	BHKW
21	Polizeiinspektion Montabaur	5,5	12,5	2013	BHKW
22	Landesschule für Gehörlose Neuwied	50	92	2013	BHKW
23	JVA Diez	50	92	2013	BHKW
24	LBB Niederlassung Trier	22	50	2014	BHKW
25	Aufbaugymnasium Alzey	5	13	2014	BHKW
26	PD Pirmasens	50	80	2014	BHKW
27	Bereitschaftspolizei Wittlich	50	92	2014	BHKW
28	PI Betzdorf	6	15	2014	BHKW
29	Universität Koblenz-Landau, Campus Landau	50	97	2015	BHKW
30	Hochschule Trier	50	81	2015	BHKW
31	JVA Trier	50	86	2015	BHKW
32	Forstamt Kusel	1	5,8	2015	BHKW
33	Heinrich-Heine-Gymnasium	50	86	2016	BHKW
34	Universität Koblenz-Landau, Campus Landau	50	86	2016	BHKW
35	JVA Zweibrücken	50	86	2016	BHKW
36	JVA Wittlich	250	264	2016	BHKW
37	JVA Rohrbach	210	322	2016	BHKW
38	Campus Zweibrücken	50	86	2017	BHKW
39	JVA Wittlich	99	173	2017	BHKW
40	PP Trier-Kürrenzer Str.	50	92	2018	BHKW
		1.891,5	3.165,5		

Anhang 10: Strom- und Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) in LBB-Liegenschaften (inkl. Hochschulen)

BHKWs	2002	2010	2011	2012	2013	2014
Erzeugte Wärme (kWh)	400.902	9.537.600	9.589.000	10.136.500	12.397.200	14.236.100
Erzeugter Strom (kWh)	190.984	5.112.100	5.139.700	5.392.600	6.832.600	7.778.400
	2015	2016	2017	2018	2019	
Erzeugte Wärme (kWh)	14.438.100	15.603.690	18.332,186	18.072.678	19.205.003	
Erzeugter Strom (kWh)	7.882.900	8.662.949	10.251.156	10.217.931	10.516.834	

Anhang 11: Geothermieranlagen in LBB-Liegenschaften inkl. Hochschulen

Nr.	Liegenschaft	Ort	Inbetriebnahmejahr	Erdsondenanzahl und Tiefe	Wärmepumpe
1	FAWF Trippstadt	Trippstadt	2007	1 x 50m 1 x 80m	1 x 8 kW aktiv Heizen, Vorwärmung und Vorkühlung der Zuluft
2	DLR Mosel Bernkastel-Kues	Bernk.-Kues	2010	16 x 110m	1 x 55,6 kW 1 x 39,6 kW aktiv Heizen, passiv Kühlen
3	Polizeiinsp. LU-Oppau	LU-Oppau	2010	8 x 99m	1 x 32 kW aktiv Heizen, passiv Kühlen
4	Heinrich-Heine-Gymnasium 2. BA Internat	Kaiserslautern	2011	1 x ca. 100m	Vorwärmung und Vorkühlung der Zuluft
5	Uni Koblenz, Laborgeb. M	Koblenz	2011	15 x ca. 150m	2 x 55 kW aktiv Hei- zen 2 x 50 kW aktiv Küh- len
6	JVA Wittlich Wirtschafts- gebäude	Wittlich	2013	3 x 130 m 17 x 110m	2 x 21 KW Tiefkühl, 3 x 96 kW Kühlraum, 2 x 108 KW Wär- me/WW

4. Entwicklung von Energieerzeugung und –verbrauch in Rheinland-Pfalz

Methodik der Energiebilanzen

Energiebilanzen tragen wesentlich dazu bei, den Energieverbrauch eines Landes umfassend darzustellen. Sie erlauben Rückschlüsse auf die energiewirtschaftlichen Entwicklungen und geben einen Überblick über die Energieverbrauchsstrukturen einer Volkswirtschaft. Der Energiefluss von der Erzeugung über die verschiedenen Umwandlungsstufen vom Primär- zum Endenergieverbrauch kann sowohl für fossile als auch für erneuerbare Energieträger detailliert nachvollzogen werden. Aus den Verbrauchsangaben der Energiebilanz werden in einem weiteren Schritt die energiebedingten Kohlendioxidemissionen des Landes abgeleitet.

Die Energiebilanzen des Landes werden im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität für den Energiebericht erstellt. Die Merkmale der Energiestatistiken sind gesetzlich festgeschrieben² und werden in allen Bundesländern von den zuständigen Statistischen Landesämtern erhoben. Über amtliche Statistiken hinaus stützen sich Energiebilanzen auch auf Daten anderer Institutionen der Energiewirtschaft sowie auf eigene Berechnungen und Schätzungen des Länderarbeitskreises (LAK) Energiebilanzen.³

Aufbau der Energiebilanz

Die Erstellung der Bilanzen erfolgt nach der im LAK Energiebilanzen abgestimmten Methodik, die sich an dem für die Bundesebene von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen entwickelten methodischen Rahmen orientiert. Insofern sind die Ergebnisse aus den Energiebilanzen der einzelnen Bundesländer und dem Bund methodisch vergleichbar.

Die Energiebilanzmatrix gliedert sich horizontal, d. h. in den Spalten, in zu Gruppen zusammengefasste Energieträger (z. B. Steinkohlen, Braunkohlen). Energieträger im Sinne der Bilanz sind alle Energiequellen oder Stoffe, in denen Energie mechanisch, thermisch, chemisch oder physikalisch gespeichert ist. Primärenergieträger sind solche, die keiner energetischen Umwandlung unterworfen wurden. Zu den Primärenergieträgern zählen u. a. Rohkohle, Erdöl, Erdgas sowie erneuerbare Energieträger. Sekundärenergieträger haben bereits Umwandlungsprozesse in ihrer chemischen oder physikalischen Struktur im Hinblick auf eine energetische (z. B. leichtes Heizöl, Kraftstoffe) oder nicht energetische (stoffliche) Verwen-

² Siehe Energiestatistikgesetz (EnStatG) vom 6. März 2017.

³ Siehe <http://www.lak-energiebilanzen.de/methodik/>

dung (z. B. Rohbenzin) erfahren. Die rheinland-pfälzischen Energiebilanzen enthalten derzeit 25 – in sechs Gruppen zusammengefasste – Energieträger.

Vertikal (nach Zeilen) ist die Energiebilanz in die drei großen Bereiche Primärenergiebilanz, Umwandlungsbilanz und Endenergieverbrauch gegliedert.

Die Primärenergiebilanz stellt die erste Stufe der Energiebilanzierung dar. Der Primärenergieverbrauch als wesentliches Resultat der Primärenergiebilanz ergibt sich entstehungsseitig als Summe aus der Energiegewinnung im Inland, den Bestandsveränderungen sowie dem Saldo aus Bezügen und Lieferungen. Der Primärenergieverbrauch umfasst demnach die für die Umwandlungsprozesse und den Endenergieverbrauch im Land benötigte Gesamtsumme an Energie.

Die Umwandlungsbilanz ist die zweite Stufe der Energiebilanzierung. In der Umwandlungsbilanz werden der Einsatz und der Ausstoß der in Rheinland-Pfalz ansässigen Umwandlungsanlagen sowie der Verbrauch bei den Umwandlungsprozessen der Energiegewinnung und die Verluste (Fackel- und Leitungsverluste) ausgewiesen. Unter Umwandlung versteht man die Änderung der chemischen und/oder physikalischen Struktur von Energieträgern. Der Primärenergieverbrauch sowie der Saldo der Umwandlungsbilanz ergeben das Energieangebot nach Umwandlung. Von großer Bedeutung für Rheinland-Pfalz ist die korrekte Verbuchung von Energieträgern, die nicht energetisch genutzt werden, sondern den Rohstoff für eine stoffliche Nutzung darstellen, beispielsweise als Ausgangsstoff für die Produktion von chemischen Grundstoffen.

In der dritten Stufe der Energiebilanzierung wird der Endenergieverbrauch dargestellt. Der Endenergieverbrauch lässt sich nach Verbrauchergruppen bzw. Verbrauchssektoren aufgliedern. Es handelt sich dabei um die Bereiche Industrie, Verkehr sowie Haushalte und Kleinverbraucher.

Der Industriesektor stellt die erste Verbrauchergruppe dar und umfasst die Gewinnung von Steinen und Erden und den sonstigen Bergbau sowie das Verarbeitende Gewerbe, wobei bestimmte Wirtschaftszweige nicht dem Endenergieverbrauch, sondern dem Umwandlungsbereich zugeordnet sind (Erdöl-, Erdgasgewinnung, Raffinerien, Kohlebergbau/-verarbeitung). Maßgebend für die Abgrenzung ist die Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008 (WZ 2008), die auf der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäi-

schen Gemeinschaft (NACE) beruht. Der Endenergieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes basiert weitgehend auf den Angaben der Betriebe von Unternehmen mit 20 und mehr Beschäftigten. Demzufolge wird der gewerbliche Verbrauch von Unternehmen mit weniger als 20 Beschäftigten bei den übrigen Verbrauchern nachgewiesen.

Der Verkehrssektor ist der zweite für den Endenergieverbrauch relevante Verbrauchssektor. Er lässt sich nach den Verkehrsträgern Schiene, Straße, Luft sowie Küsten- und Binnenschifffahrt untergliedern. Im Bereich Verkehr, wie auch in der Energiebilanzierung generell, ist das Inlandsprinzip zu beachten. Für den Straßenverkehr bedeutet dies beispielsweise, dass die Menge der in Rheinland-Pfalz getankten Kraftstoffe dem Kraftstoffverbrauch des Landes entspricht. Es spielt dabei keine Rolle, dass Bewohner von Rheinland-Pfalz auch außerhalb des Landes ihr Fahrzeug betanken und Verbraucher, die nicht in Rheinland-Pfalz ihren Wohnsitz haben, Kraftstoff an rheinland-pfälzischen Tankstellen einkaufen.

Bei der dritten Verbrauchergruppe, Haushalte und Kleinverbraucher handelt es sich um eine äußerst heterogene Gruppe. Neben den Privathaushalten und den kleingewerblichen Betrieben gehören hierzu beispielsweise der gesamte öffentliche und private Dienstleistungsbereich, der Groß- und Einzelhandel, die Landwirtschaft und das Militär.

Vom Endenergieverbrauch ist die energetisch letzte Stufe der Energieverwendung, die sogenannte „Nutzenergie“ (z. B. Nutzung als Licht oder Wärme), begrifflich zu unterscheiden. Die Energiebilanz enthält keinen Nachweis über die Nutzenergie, da hierfür gegenwärtig weder ausreichende statistische Erhebungen noch hinreichend gesicherte und umfassende andere Quantifizierungsmöglichkeiten vorhanden sind.

Umrechnungsfaktoren für die einheitliche Darstellung der Energieträger

Die Energiebilanzübersichten werden in vier Dimensionen ausgewiesen (in spezifische Mengeneinheiten, z. B. Tonnen sowie in Terajoule, Steinkohleeinheiten und Kilowattstunden). Ausgehend von den spezifischen Mengeneinheiten wird mittels Umrechnungsfaktoren in die jeweiligen Maßeinheiten umgerechnet. Die Umrechnung erfolgt auf der Grundlage der Heizwerte, die in Kilojoule je Mengeneinheit ausgedrückt werden. Die Heizwerte müssen nach Maßgabe der sich ändernden Qualität der Energieträger von Zeit zu Zeit angepasst werden. Die Anpassung erfolgt ländereinheitlich im LAK Energiebilanzen.

Für die Bilanzierung des Stromhandels und die Bewertung von Wasser- und Windkraft, Fotovoltaik sowie der Kernenergie gibt es keinen einheitlichen Umrechnungsmaßstab wie den Heizwert. In diesen Fällen wird nach dem sogenannten Wirkungsgradprinzip vorgegangen. Zur Bewertung werden – angeglichen an internationale Konventionen – repräsentative physikalische Wirkungsgrade zugrunde gelegt. Vergleiche mit Ergebnissen anderer Bundesländer, wie sie der LAK Energiebilanzen oder der AK UGRdL vorhält, sind damit möglich.

Anhang 12: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2018 in spezifischen Mengeneinheiten

Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2018 in spezifischen Mengeneinheiten		Zeile	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralölprodukte				
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ölkraftstoffe	Dieselmkraftstoffe	Flugturbinenkraftstoff
Berechnungsstand: Juni 2021			1000 Tonnen								
Primär- energiebilanz	Gewinnung	1	-	-	-	-	148	-	-	-	-
	Bezüge	2	58	11	35	139	-	1557	1052	1804	150
	Bestandsentnahmen	3	4	-	-	-	-	-	-	0	-
	Energieaufkommen	4	62	11	35	139	148	1557	1052	1804	150
	Lieferungen	5	-	-	-	-	148	-	-	-	-
	Bestandsaufstockungen	6	-	-	-	0	-	-	-	-	-
	Primärenergieverbrauch	7	62	11	35	139	-	1557	1052	1804	150
Umwandlungsbilanz	Umwandlungseinsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	26	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK (nur Strom)	12	14	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-
		Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	-	-	-	17	-	-	-	-
		Hochöfen, Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-
		Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	-
		Umwandlungseinsatz insgesamt	20	39	-	-	17	-	-	-	-
	Umwandlungsausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	
		Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	23	-	-	-	-	-	-	-	
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	
		Industriewärme- und KWK (nur Strom)	25	-	-	-	-	-	-	-	
		Kernkraftwerke	26	-	-	-	-	-	-	-	
		Wasserkraftwerke	27	-	-	-	-	-	-	-	
Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)		28	-	-	-	-	-	-	-		
Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)		29	-	-	-	-	-	-	-		
Hochöfen, Konverter		30	-	-	-	-	-	-	-		
Raffinerien	31	-	-	-	-	-	-	-			
Sonstige Energieerzeuger	32	-	-	-	-	-	-	-			
Umwandlungsausstoß insgesamt	33	-	-	-	-	-	-	-	-		
Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungs-	Kokereien	34	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Steinkohlenbergbau, Braunkohlenbergbau	35	-	-	-	-	-	-	-		
	Kraftwerke, Heizwerke	36	-	-	-	-	-	-	-		
	Erdöl- und Erdgasgewinnung WZ (6)	37	-	-	-	-	-	-	-		
	Mineralölverarbeitung (einschl. Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken) (WZ (19))	38	-	-	-	-	-	-	-		
	Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	-		
	E.-Verbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	40	-	-	-	-	-	-	-		
Fackel- und Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-			
Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	42	23	11	35	122	-	1557	1052	1804	150
	Nichtenergetischer Verbrauch	43	1	-	-	38	-	1557	-	-	
	Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-	
Endenergieverbrauch nach Sektoren	Endenergieverbrauch	45	21	11	35	84	-	-	1052	1804	150
	Gew. v. Steinen und Erden, sonstiger Bergbau u. Erbringung von Dienstleist.	46	-	-	-	2	-	-	-	0	-
	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln, Getränkeherst., Tabakverarb.	47	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen	48	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (o. Möbel)	49	-	-	-	-	-	-	-	0	
	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	50	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Druckerzeugn.; Vervielf. v. bsp. Ton-, Bild- u. Datentr.	51	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	52	18	-	-	8	-	-	-	-	
	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	53	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	54	-	-	-	-	-	-	-	0	
	Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	55	3	-	-	74	-	-	-	0	
	Metallerzeugung und -bearbeitung	56	-	11	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Metallerzeugnissen	57	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elek. u. opt. Erzeugn., u. elek. Ausrüstungen	58	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Maschinenbau	59	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen u. sonstiger Fahrzeugbau	60	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Übrige Wirtschaftszweige	61	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau, Gew. von Steinen und Erden	62	20	11	-	84	-	-	-	0	
	Schienerverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	19	
	Straßenverkehr	64	-	-	-	-	-	-	1029	1617	
	Luftverkehr	65	-	-	-	-	-	-	1	-	150
	Küsten- und Binnenschifffahrt	66	-	-	-	-	-	-	-	13	
	Verkehr insgesamt	67	-	-	-	-	-	-	1029	1649	150
	Haushalte	68	1	-	35	-	-	-	8	-	
	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	69	0	-	-	-	-	-	14	155	0
	Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	70	1	-	35	-	-	-	22	155	0

¹ Einschließlich ungekoppelte Erzeugung in Heizkraftwerken.

* z.T. eigene Berechnungen und Schätzungen des LAK Energiebilanzen

Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase	Erneuerbare Energieträger						Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile
Heizöl		Petrokoks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdölgas	Kilgas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht biogen	Andere		
leicht	schwer															1000 Tonnen					Terajoule						Terajoule
					Mill. kWh *							Mill. kWh					
-	-	-	-	-	14	837	2 956	22 290	8 885	46 131	3 194	-	-	-	-	109 364	1
901	27	32	283	93	67 844	-	-	-	-	744	-	9 292	239	-	-	537 754	2
-	-	3	0	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	38	-	277	3
901	27	35	283	93	67 858	837	2 956	22 290	8 885	46 902	3 194	9 292	239	13 345	5 400	647 394	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 311	5
5	0	-	-	0	-	-	-	-	-	178	-	-	-	-	-	400	6
896	27	35	283	93	67 858	837	2 956	22 290	8 885	46 724	3 194	9 292	239	13 345	5 400	640 683	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
0	-	-	-	0	1 795	0	-	-	-	4 679	-	-	1 235	1 746	-	14 123	10
0	-	-	-	0	2 099	4	-	-	-	3 783	-	-	1 195	1 515	-	14 808	11
0	-	-	-	-	10 467	-	-	-	-	1280	-	-	848	1 202	1 973	43 320	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
-	-	-	-	-	-	748	2 956	-	-	-	-	-	-	-	-	2 956	14
10	0	-	-	-	887	22 290	-	7 301	4 351	158	-	-	560	1 930	-	34 848	15
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 638	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
0	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	617	18
10	0	-	15	0	15 248	753	2 956	22 290	7 301	16 255	158	0	3 838	6 393	1 973	119 313	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 565	-	-	-	5 633	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 027	8 512	-	-	12 208	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 906	-	-	-	28 463	25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	821	-	-	-	2 956	27
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 703	274	-	-	31 605	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 743	-	-	7 743	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	617	32
-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	20 023	16 529	-	-	89 226	33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	369	-	-	-	1 327	35
-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	43	37
0	-	-	-	-	93	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	375	38
-	-	-	-	-	208	-	-	-	-	-	-	199	274	-	-	1 738	39
0	-	-	-	-	306	-	-	-	-	-	-	584	274	-	-	3 483	40
-	-	-	-	-	51	53	-	-	-	-	-	763	2 089	-	-	5 071	41
886	27	35	283	92	52 253	31	-	-	1 584	30 469	3 036	27 969	10 568	6 953	3 426	602 042	42
-	-	35	281	0	10 234	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	118 442	43
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 989	-	-	1 989	44
886	27	0	2	92	42 019	31	-	-	1 584	30 469	3 036	27 969	12 557	6 953	3 426	485 589	45
1	-	-	-	0	72	-	-	-	-	2	-	109	0	-	-	754	46
7	-	-	-	0	1 723	11	-	-	-	53	-	8 18	48	-	-	9 563	47
0	-	-	-	-	122	-	-	-	-	-	0	125	8	-	-	913	48
2	-	-	-	0	65	-	-	-	-	2 310	0	225	24	-	-	3 466	49
2	-	-	-	0	1644	-	-	-	-	193	-	1 206	4 946	85	-	15 564	50
0	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	51	-	-	-	320	51
4	6	-	-	0	11 106	-	-	-	-	470	-	6 891	641	4 340	3 426	74 640	52
1	-	-	-	0	316	-	-	-	-	495	-	218	294	-	-	2 752	53
3	-	-	-	1	645	-	-	-	-	6	-	1 425	227	-	-	7 864	54
3	-	-	-	1	2 840	-	-	-	-	49	-	1 044	43	2 528	-	18 491	55
1	-	0	-	0	10 655	-	-	-	-	0	-	10 621	113	-	-	9 107	56
3	-	-	0	1	509	-	-	-	-	8	0	570	34	-	-	4 115	57
1	-	-	-	0	72	-	-	-	-	1	1	179	5	-	-	964	58
4	-	-	0	1	352	-	-	-	-	14	0	492	79	-	-	3 418	59
2	-	-	-	0	307	2	-	-	-	6	-	386	236	-	-	2 835	60
2	-	-	-	0	44	-	-	-	-	191	0	84	29	-	-	749	61
36	6	0	0	4	20 918	13	-	-	-	3 898	2	14 883	7 726	6 953	3 426	155 515	62
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	-	425	-	-	-	2 377	63
-	-	-	-	15	35	-	-	-	-	5 968	-	8	-	-	-	120 502	64
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 462	65
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	592	66
-	-	-	-	15	35	-	-	-	-	6 046	-	433	-	-	-	129 933	67
702	-	-	1	57	13 839	-	-	-	1516	16 777	2 804	6 724	2 566	-	-	131 308	68
147	21	-	-	18	7 227	19	-	-	68	3 748	230	5 928	2 265	-	-	68 834	69
849	21	-	1	74	21 066	19	-	-	1 584	20 525	3 034	12 652	4 831	-	-	200 142	70

Anhang 13: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2018 in Terajoule

Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2018 in Terajoule		Zeile	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralölprodukte				
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ölkräftstoffe	Dieselskräftstoffe	Flugturbinenkräftstoff
Berechnungsstand: Juni 2021			Terajoule								
Primär- energiebilanz	Gewinnung	1	-	-	-	-	6 311	-	-	-	-
	Bezüge	2	1518	305	686	3 057	-	68 530	45 791	76 930	6 438
	Bestandsentnahmen	3	105	-	-	-	-	-	-	0	-
	Energieaufkommen	4	1623	305	686	3 057	6 311	68 530	45 791	76 930	6 438
	Lieferungen	5	-	-	-	-	6 311	-	-	-	-
	Bestandsaufstockungen	6	-	-	-	4	-	-	-	-	-
	Primärenergieverbrauch	7	1623	305	686	3 053	-	68 530	45 791	76 930	6 438
Umwandlungsbilanz	Umwandlungseinsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und Kälteanlagen (ohne KWK) ¹	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	753	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und Kälteanlagen (nur Strom)	12	321	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-
		Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	-	-	-	370	-	-	-	-
		Hochöfen, Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-
		Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	-
		Umwandlungseinsatz insgesamt	20	1074	-	-	370	-	-	-	-
	Umwandlungsausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und Kälteanlagen (ohne KWK) ¹	23	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und Kälteanlagen (nur Strom)	25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	26	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	27	-	-	-	-	-	-	-	-
Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)		28	-	-	-	-	-	-	-	-	
Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)		29	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hochöfen, Konverter		30	-	-	-	-	-	-	-	-	
Raffinerien		31	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sonstige Energieerzeuger		32	-	-	-	-	-	-	-	-	
Umwandlungsausstoß insgesamt		33	-	-	-	-	-	-	-	-	
Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungs- einrichtungen	Kokereien	34	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Steinkohlenbergbau, Braunkohlenbergbau	35	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Kraftwerke, Heizwerke	36	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Erdöl- und Erdgasgewinnung WZ (6)	37	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mineralölverarbeitung (einschl. Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken) (WZ (19))	38	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	-	-	
	E-Verbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	40	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Fackel- und Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-	-	
Energieerzeugung	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	42	549	305	686	2 683	-	68 530	45 791	76 930	6 438
	Nichtenergetischer Verbrauch	43	28	-	-	834	-	68 530	-	-	-
	Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energieverbrauch nach Sektoren	Endenergieverbrauch	45	521	305	686	1849	-	-	45 791	76 930	6 438
	Gew. v. Steinen und Erden, sonstiger Bergbau u. Erbringung von Dienstleist.	46	-	-	-	48	-	-	-	9	-
	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln, Getränkeherst., Tabakverarb.	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (o. Möbel)	49	-	-	-	-	-	-	-	0	-
	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Druckerzeugn.; Vervielf. v. bsp. Ton-, Bild- u. Datentr.	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	52	408	-	-	172	-	-	-	-	-
	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	54	-	-	-	-	-	-	-	0	-
	Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	55	81	-	-	1629	-	-	-	1	-
	Metallerzeugung und -bearbeitung	56	-	305	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Metallerzeugnissen	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elek. u. opt. Erzeugn., u. elek. Ausrüstungen	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Maschinenbau	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen u. sonstiger Fahrzeugbau	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Übrige Wirtschaftszweige	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau, Gew. von Steinen und Erden	62	490	305	-	1849	-	-	-	10	-
	Straßenverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	800	-
	Luftverkehr	64	-	-	-	-	-	-	44 789	68 959	-
	Küsten- und Binnenschifffahrt	65	-	-	-	-	-	-	26	-	6 435
	Verkehr insgesamt	66	-	-	-	-	-	-	-	560	-
	Haushalte	67	-	-	-	-	-	-	44 816	70 319	6 435
	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	68	25	-	686	-	-	-	357	-	-
	Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	69	7	-	-	-	-	-	618	6 601	3
	Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	70	31	-	686	-	-	-	975	6 601	3

¹Einschließlich ungekoppelte Erzeugung in Heizkraftwerken.
* z.T. eigene Berechnungen und Schätzungen des LAK Energiebilanzen

Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase	Erneuerbare Energieträger						Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile
Heizöl		Petrokoks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdölgas	Klargas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht brennbar	Andere		
leicht	schwer																
Terajoule																	
-	-	-	-	-	52	837	2 956	22 290	8 885	46 131	3 194	-	-	13 307	5 400	109 364	1
38 565	1096	995	11 175	3 998	244 237	-	-	-	-	744	-	33 452	239	-	-	537 754	2
-	-	104	2	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	38	-	277	3
38 565	1096	1099	11 176	3 998	244 289	837	2 956	22 290	8 885	46 902	3 194	33 452	239	13 345	5 400	647 394	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 311	5
2 15	1	-	-	2	-	-	-	-	-	178	-	-	-	-	-	400	6
38 350	1095	1099	11 176	3 996	244 289	837	2 956	22 290	8 885	46 724	3 194	33 452	239	13 345	5 400	640 683	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
1	-	-	-	1	6 462	0	-	-	-	4 679	-	-	1235	1746	-	14 123	10
1	-	-	-	0	7 556	4	-	-	-	3 783	-	-	1195	1515	-	14 808	11
14	-	-	-	-	37 682	-	-	-	-	1280	-	-	848	1202	1973	43 320	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
-	-	-	-	-	-	-	2 956	-	-	-	-	-	-	-	-	2 956	14
-	-	-	-	-	-	748	-	22 290	7 301	4 351	158	-	-	-	-	34 848	15
4 10	15	-	-	-	3 193	-	-	-	-	2 181	-	-	560	1930	-	8 638	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
4	-	-	6 13	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	19
430	15	-	6 13	1	54 892	753	2 956	22 290	7 301	16 255	158	1	3 838	6 393	1973	119 313	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5 633	-	-	-	5 633	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 696	8 512	-	-	12 208	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 463	-	-	-	28 463	25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 956	-	-	-	2 956	27
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31 331	274	-	-	31 605	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 743	-	-	7 743	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
-	-	-	6 13	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	6 17	32
-	-	-	6 13	-	-	-	-	-	-	-	-	72 084	16 529	-	-	89 226	33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1327	-	-	-	1327	36
-	-	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	21	-	-	-	43	37
6	-	-	-	-	333	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	375	38
-	-	-	-	-	748	-	-	-	-	-	-	716	274	-	-	1738	39
6	-	-	-	-	1 103	-	-	-	-	-	-	2 101	274	-	-	3 483	40
-	-	-	-	-	183	53	-	-	-	-	-	2 747	2 089	-	-	5 071	41
37 915	1080	1099	11 176	3 994	188 110	31	-	-	1584	30 469	3 036	100 688	10 568	6 953	3 426	602 042	42
-	-	-	10 999	11 107	0	36 844	-	-	-	-	-	-	-	-	-	118 442	43
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1989	-	-	1989	44
37 915	1080	0	69	3 994	151 267	31	-	-	1584	30 469	3 036	100 688	12 557	6 953	3 426	485 589	45
44	-	-	-	3	259	-	-	-	-	2	-	391	0	-	-	754	46
294	-	-	-	13	6 201	11	-	-	-	53	-	2 943	48	-	-	9 563	47
14	-	-	-	-	439	-	-	-	-	-	0	451	8	-	-	913	48
86	-	-	-	3	234	-	-	-	-	2 310	0	810	24	-	-	3 466	49
71	-	-	-	11	5 918	-	-	-	-	193	-	4 340	4 946	85	-	15 564	50
4	-	-	-	-	133	-	-	-	-	-	-	183	-	-	-	320	51
159	232	-	-	1	39 980	-	-	-	-	470	-	24 809	641	4 340	3 426	74 640	52
40	-	-	-	2	1 138	-	-	-	-	495	-	783	294	-	-	2 752	53
146	-	-	-	32	2 322	-	-	-	-	6	-	5 129	227	-	-	7 864	54
145	-	-	-	34	10 223	-	-	-	-	49	-	3 757	43	2 528	-	18 491	55
29	-	0	-	3	3 834	-	-	-	-	0	-	3 822	1113	-	-	9 107	56
149	-	-	6	31	1834	-	-	-	-	8	0	2 053	34	-	-	4 115	57
54	-	-	-	2	258	-	-	-	-	1	1	644	5	-	-	964	58
160	-	-	3	26	1267	-	-	-	-	14	0	1 770	79	-	-	3 418	59
88	-	-	-	5	1 107	2	-	-	-	6	-	1 391	236	-	-	2 835	60
65	-	-	-	6	157	-	-	-	-	191	0	301	29	-	-	749	61
1549	232	0	9	171	75 303	13	-	-	-	3 898	2	53 579	7 726	6 953	3 426	155 515	62
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	-	1531	-	-	-	2 377	63
-	-	-	-	629	127	-	-	-	-	5 968	-	30	-	-	-	120 502	64
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 462	65
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	592	66
-	-	-	-	629	127	-	-	-	-	6 046	-	1560	-	-	-	129 933	67
30 051	-	-	61	2 439	49 819	-	-	-	1516	16 777	2 804	24 208	2 566	-	-	131 308	68
6 314	848	-	-	755	26 017	19	-	-	68	3 748	230	21 340	2 265	-	-	68 834	69
36 365	848	-	61	3 195	75 836	19	-	-	1584	20 525	3 034	45 548	4 831	-	-	200 142	70

Anhang 14: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2018 in Kilowattstunden

Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2018 in Millionen Kilowattstunden		Zeile	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralölprodukte				
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Anderer Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ölkräflstoffe	Diesekräflstoffe	Flugturbinenkräflstoff
Berechnungsstand: Juni 2021			Mill. kWh								
Primär- energiebilanz	Gewinnung	1	-	-	-	-	1753	-	-	-	-
	Bezüge	2	422	85	191	849	-	19 036	12 720	21 369	1788
	Bestandsentnahmen	3	29	-	-	-	-	-	-	0	-
	Energieaufkommen	4	451	85	191	849	1753	19 036	12 720	21 369	1788
	Lieferungen	5	-	-	-	-	1753	-	-	-	-
	Bestandsaufstockungen	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Primärenergieverbrauch	7	451	85	191	848	-	19 036	12 720	21 369	1788
Umwandlungs- bilanz	Umwandlungs- einsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und Krafwerke der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heiz- und Krafwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	209	-	-	-	-	-	-	-
		Industrie- und Krafwerke (nur Strom)	12	89	-	-	-	-	-	-	-
		Kern- und Krafwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasser- und Krafwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wind-, Photo- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heiz- und Krafwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	-	-	-	103	-	-	-	-
		Hoch- und Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-
	Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Umwandlungseinsatz insgesamt	20	298	-	-	103	-	-	-	-	-
	Umwandlungs- ausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und Krafwerke der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	23	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heiz- und Krafwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industrie- und Krafwerke (nur Strom)	25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kern- und Krafwerke	26	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasser- und Krafwerke	27	-	-	-	-	-	-	-	-
Wind-, Photo- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)		28	-	-	-	-	-	-	-	-	
Heiz- und Krafwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)		29	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hoch- und Konverter		30	-	-	-	-	-	-	-	-	
Raffinerien		31	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sonstige Energieerzeuger		32	-	-	-	-	-	-	-	-	
Umwandlungsausstoß insgesamt		33	-	-	-	-	-	-	-	-	
Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungs- einrichtungen	Kokereien	34	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Steinkohlenbergbau, Braunkohlenbergbau	35	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Kraftwerke, Heiz- und Krafwerke	36	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Erdöl- und Erdgasgewinnung WZ (6)	37	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mineralölverarbeitung (einschl. Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken) (WZ (19))	38	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	-	-	
	E.-Verbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	40	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Fackel- und Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-	-	
Energieerzeugung	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	42	153	85	191	745	-	19 036	12 720	21 369	1788
	Nichtenergetischer Verbrauch	43	8	-	-	232	-	19 036	-	-	-
	Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energieverbrauch nach Sektoren	Endenergieverbrauch	45	145	85	191	54	-	12 720	21 369	1788	
	Gew. v. Steinen und Erden, sonstiger Bergbau u. Erbringung von Dienstleist.	46	-	-	-	13	-	-	-	2	-
	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln, Getränkeherst., Tabakverarb.	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (o. Möbel)	49	-	-	-	-	-	-	-	0	-
	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Druckerzeugn.; Vervielf. v. bsp. Ton-, Bild- u. Datentr.	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	52	113	-	-	48	-	-	-	-	-
	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	54	-	-	-	-	-	-	-	0	-
	Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	55	23	-	-	453	-	-	-	0	-
	Metallerzeugung und -bearbeitung	56	-	85	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Metallerzeugnissen	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elek. u. opt. Erzeugn., u. elek. Ausrüstungen	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Maschinenbau	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen u. sonstiger Fahrzeugbau	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Übrige Wirtschaftszweige	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau, Gew. von Steinen und Erden	62	136	85	-	54	-	-	-	3	-
	Schienerverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	222	-
	Straßenverkehr	64	-	-	-	-	-	-	12 441	19 155	-
	Luftverkehr	65	-	-	-	-	-	-	7	-	1788
	Küsten- und Binnenschifffahrt	66	-	-	-	-	-	-	-	156	-
	Verkehr insgesamt	67	-	-	-	-	-	-	12 449	19 533	1788
	Haushalte	68	7	-	191	-	-	-	99	-	-
	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	69	2	-	-	-	-	-	172	1834	1
	Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	70	9	-	191	-	-	-	271	1834	1

¹Einschließlich ungekoppelte Erzeugung in Heizkraftwerken.
* z.T. eigene Berechnungen und Schätzungen des LAK Energiebilanzen

Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase	Erneuerbare Energieträger						Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile
Heizöl		Petrolkoks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdölgas	Klärgas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht biogen	Andere		
leicht	schwer																
Mill. kWh																	
-	-	-	-	-	14	233	821	6 192	2 468	12 814	887	-	-	3 696	1500	30 379	1
10 712	304	276	3 104	1111	67 844	-	-	-	-	207	-	9 292	66	-	-	149 376	2
-	-	29	0	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	11	-	77	3
10 712	304	305	3 104	1111	67 858	233	821	6 192	2 468	13 028	887	9 292	66	3 707	1500	179 832	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1753	5
60	0	-	-	1	-	-	-	-	-	49	-	-	-	-	-	111	6
10 653	304	305	3 104	1 110	67 858	233	821	6 192	2 468	12 979	887	9 292	66	3 707	1500	177 968	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
0	-	-	-	0	1795	0	-	-	-	1300	-	-	343	485	-	3 923	10
0	-	-	-	0	2 099	1	-	-	-	1051	-	-	332	421	-	4 113	11
4	-	-	-	-	10 467	-	-	-	-	356	-	-	236	334	548	12 033	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
-	-	-	-	-	-	-	821	-	-	-	-	-	-	-	-	821	14
-	-	-	-	-	-	208	-	6 192	2 028	1209	44	-	-	-	-	9 680	15
114	4	-	-	-	887	-	-	-	-	600	-	-	156	536	-	2 399	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
1	-	-	170	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	172	19
119	4	-	170	0	15 248	209	821	6 192	2 028	4 515	44	0	1066	1776	548	33 142	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1565	-	-	-	1565	22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1027	2 365	-	-	3 391	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 906	-	-	-	7 906	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	821	-	-	-	821	27
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 703	76	-	-	8 779	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 151	-	-	2 151	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
-	-	-	170	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	171	32
-	-	-	170	-	-	-	-	-	-	-	-	20 023	4 591	-	-	24 785	33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	369	-	-	-	369	36
-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	12	37
2	-	-	-	-	93	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	104	38
-	-	-	-	-	208	-	-	-	-	-	-	199	76	-	-	483	39
2	-	-	-	-	306	-	-	-	-	-	-	584	76	-	-	968	40
-	-	-	-	-	51	15	-	-	-	-	-	763	580	-	-	1409	41
10 532	300	305	3 104	1 110	52 253	9	-	-	440	8 464	843	27 969	2 936	1931	952	167 234	42
-	-	305	3 085	0	10 234	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32 900	43
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	552	-	-	552	44
10 532	300	0	19	1 110	42 019	9	-	-	440	8 464	843	27 969	3 488	1931	952	134 886	45
12	-	-	-	1	72	-	-	-	-	0	-	109	0	-	-	210	46
82	-	-	-	4	1723	3	-	-	-	15	-	818	13	-	-	2 656	47
4	-	-	-	-	122	-	-	-	-	-	0	125	2	-	-	254	48
24	-	-	-	1	65	-	-	-	-	642	0	225	7	-	-	963	49
20	-	-	-	3	1644	-	-	-	-	54	-	1206	1374	24	-	4 323	50
1	-	-	-	3	37	-	-	-	-	-	-	51	-	-	-	89	51
44	64	-	-	0	11 106	-	-	-	-	131	-	6 891	178	1205	952	20 733	52
11	-	-	-	1	316	-	-	-	-	138	-	218	82	-	-	765	53
41	-	-	-	9	645	-	-	-	-	2	-	1425	63	-	-	2 184	54
40	-	-	-	10	2 840	-	-	-	-	14	-	1044	12	702	-	5 136	55
8	-	0	-	1	1065	-	-	-	-	0	-	1062	309	-	-	2 530	56
41	-	-	2	9	509	-	-	-	-	2	0	570	9	-	-	1 143	57
15	-	-	-	0	72	-	-	-	-	0	0	179	1	-	-	268	58
44	-	-	-	1	352	-	-	-	-	32	0	492	22	-	-	949	59
25	-	-	-	1	307	1	-	-	-	2	-	386	65	-	-	787	60
16	-	-	-	2	44	-	-	-	-	53	0	84	8	-	-	208	61
430	64	0	2	48	20 918	4	-	-	-	1083	1	14 883	2 146	1931	952	43 199	62
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	425	-	-	-	660	63
-	-	-	-	175	35	-	-	-	-	1658	-	8	-	-	-	33 473	64
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1795	65
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	165	66
-	-	-	-	175	35	-	-	-	-	1680	-	433	-	-	-	36 092	67
8 348	-	-	17	678	13 839	-	-	-	421	4 660	779	6 724	713	-	-	36 474	68
1754	236	-	-	210	7 227	5	-	-	19	1041	64	5 928	629	-	-	19 120	69
10 101	236	-	17	887	21 066	5	-	-	440	5 701	843	12 652	1342	-	-	55 595	70

Anhang 15: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2019 in spezifischen Mengeneinheiten

Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2019 in spezifischen Mengeneinheiten		Zeile	Steinkohlen		Braunkohlen		Minerale und Mineralprodukte						
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Oleokraftstoffe	Dieselkraftstoffe	Flugturbinenkraftstoff		
												1000 Tonnen	
Berechnungsstand: Juni 2021													
Primär- energiebilanz	Gewinnung	1	-	-	-	-	-	149	-	-	-	-	-
	Bezüge	2	70	9	31	135	-	1447	1063	1825	15	-	
	Bestandsentnahmen	3	-	0	-	0	-	-	-	-	0	-	-
	Energieaufkommen	4	70	9	31	135	149	1447	1063	1825	15	-	
	Lieferungen	5	-	-	-	-	149	-	-	-	-	-	-
	Bestandsaufstockungen	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Primärenergieverbrauch	7	69	9	31	135	-	1447	1063	1825	15	-	
Umwandlungsbilanz	Umwandlungseinsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK-Produktion (ohne KWK) ¹	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und Stromerzeugung (nur Strom)	12	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-
		Hochöfen, Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Umwandlungseinsatz insgesamt	20	50	-	-	18	-	-	-	-	-	-
	Umwandlungsausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK-Produktion (ohne KWK) ¹	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und Stromerzeugung (nur Strom)	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)		28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)		29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hochöfen, Konverter		30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Raffinerien		31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sonstige Energieerzeuger		32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Umwandlungsausstoß insgesamt		33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungs-	Kokereien	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Steinkohlenbergbau, Braunkohlenbergbau	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Kraftwerke, Heizwerke	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Erdöl- und Erdgasgewinnung WZ (6)	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mineralölverarbeitung (einschl. Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken) (WZ (19))	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	E.-Verbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Fackel- und Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Energieerzeugung	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	42	19	9	31	117	-	1447	1063	1825	15	-	
	Nichtenergetischer Verbrauch	43	0	-	-	32	-	1447	-	-	-	-	
	Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Energieverbrauch nach Sektoren	Endenergieverbrauch	45	19	9	31	86	-	-	1063	1825	15	-	
	Gew. v. Steinen und Erden, sonstiger Bergbau u. Erbringung von Dienstleist.	46	-	-	-	2	-	-	-	0	-	-	
	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln, Getränkeherst., Tabakverarb.	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (o. Möbel)	49	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	
	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Druckerzeugn.; Vervielf. v. bsp. Ton-, Bild- u. Datentr.	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	52	15	-	-	7	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	54	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	
	Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	55	3	-	-	76	-	-	-	0	-	-	
	Metallerzeugung und -bearbeitung	56	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Metallerzeugnissen	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elek. u. opt. Erzeugn., u. elek. Ausrüstungen	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Maschinenbau	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen u. sonstiger Fahrzeugbau	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Übrige Wirtschaftszweige	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau, Gew. von Steinen und Erden	62	18	9	-	86	-	-	-	0	-	-	
	Schienerverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	21	-	-	
	Straßenverkehr	64	-	-	-	-	-	-	1039	1633	-	-	
	Luftverkehr	65	-	-	-	-	-	-	1	0	15	-	
	Küsten- und Binnenschifffahrt	66	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	
	Verkehr insgesamt	67	-	-	-	-	-	-	1040	1668	15	-	
	Haushalte	68	0	-	31	-	-	-	8	-	-	-	
	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	69	0	-	-	0	-	-	14	157	0	-	
	Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	70	1	-	31	0	-	-	22	157	0	-	

¹Einschließlich ungekoppelte Erzeugung in Heizkraftwerken.
* z.T. eigene Berechnungen und Schätzungen des LAK Energiebilanzen

Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase	Erneuerbare Energieträger						Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile	
Heizöl		Petrokoks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdölgas	Kilgas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht biogen	Andere			
leicht	schwer															1000 Tonnen	Mill. kWh *	Terajoule
-	-	-	-	-	15	847	3 293	24 713	8 914	49 214	3 523	-	-	-	-	15 266	1	
1084	18	33	292	105	68 717	-	-	-	-	-	-	7 269	250	13 464	4 929	536 597	2	
-	0	-	0	0	-	-	-	-	-	64	-	-	-	-	-	79	3	
1084	18	33	292	105	68 732	847	3 293	24 713	8 914	49 279	3 523	7 269	250	13 464	4 929	651 942	4	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 344	-	-	-	-	-	8 661	5	
0	-	1	-	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-	15	-	120	6	
1084	18	32	292	105	68 732	847	3 293	24 713	8 914	46 913	3 523	7 269	250	13 449	4 929	643 161	7	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	
0	-	-	-	0	3 120	-	-	-	-	4 590	-	-	1391	1920	-	19 140	10	
0	-	-	-	0	2 515	14	-	-	-	3 886	-	-	1338	1404	-	16 478	11	
0	-	-	-	-	9 966	-	-	-	-	1535	-	-	572	1233	1688	41 531	12	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	
-	-	-	-	-	-	739	3 293	-	-	-	-	-	-	-	-	3 293	14	
-	-	-	-	-	-	-	-	24 713	7 398	3 847	-	210	-	-	-	36 907	15	
6	-	-	-	0	794	-	-	-	2	2 291	-	-	-	1943	-	7 736	16	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	
0	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	626	19	
6	-	-	-	15	0	16 395	753	3 293	24 713	7 400	16 149	210	1	3 301	6 500	1688	125 710	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 260	-	-	-	-	8 135	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1265	9 163	-	-	-	13 716	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 634	-	-	-	-	27 482	25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	915	-	-	-	-	3 293	27
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9 366	280	-	-	-	33 998	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 456	-	-	-	6 456	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	621	32
-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	21 441	15 898	-	-	93 699	33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	362	-	-	-	-	1303	36
-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	46	37
0	-	-	-	-	99	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	402	38
-	-	-	-	-	188	-	-	-	-	-	-	184	280	-	-	-	1623	39
0	-	-	-	-	295	-	-	-	-	-	-	563	280	-	-	-	3 373	40
-	-	-	-	-	23	63	-	-	-	-	-	763	1239	-	-	-	4 132	41
1078	18	32	292	105	52 019	30	-	-	1514	30 764	3 313	27 384	11 327	6 949	3 241	603 645	42	
-	-	-	-	32	291	0	10 872	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115 979	43
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 549	-	-	-	2 549	44
1078	18	-	-	2	105	41 146	30	-	1514	30 764	3 313	27 384	13 876	6 949	3 241	490 215	45	
1	-	-	-	-	0	66	-	-	-	-	-	104	0	-	-	-	719	46
6	-	-	-	-	0	1707	12	-	-	50	-	792	44	-	-	-	9 398	47
0	-	-	-	-	0	119	-	-	-	-	0	121	8	-	-	-	890	48
2	-	-	-	-	0	54	-	-	-	2 376	0	224	25	-	-	-	3 485	49
1	-	-	-	-	0	1789	-	-	-	217	-	1188	4 377	106	-	-	15 489	50
0	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	-	51	5	-	-	-	341	51
3	6	-	-	-	0	11062	-	-	-	366	-	6 910	943	4 178	3 241	74 371	52	
1	-	-	-	-	0	338	-	-	-	393	-	217	323	-	-	-	2 741	53
4	-	-	-	-	0	614	-	-	-	5	-	1399	219	-	-	-	7 639	54
3	-	-	-	-	1	2 647	-	-	-	62	-	1070	125	2 665	-	-	18 188	55
1	-	-	-	-	1035	-	-	-	-	0	-	1014	1101	-	-	-	8 769	56
3	-	-	-	0	1	484	-	-	-	8	0	532	32	-	-	-	3 886	57
1	-	-	-	-	0	70	-	-	-	1	1	165	3	-	-	-	909	58
3	-	-	-	0	1	344	-	-	-	111	1	461	75	-	-	-	3 260	59
2	-	-	-	-	0	303	2	-	-	9	-	350	222	-	-	-	2 675	60
2	-	-	-	-	0	51	-	-	-	139	0	80	28	-	-	-	714	61
34	6	-	-	0	4	20 725	14	-	-	3 740	2	14 679	7 530	6 949	3 241	153 475	62	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	-	407	-	-	-	-	2 423	63
-	-	-	-	-	17	26	-	-	-	5 968	-	13	-	-	-	-	12 734	64
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4 971	65
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	-	626	66
-	-	-	-	-	17	26	-	-	-	6 046	-	420	-	-	-	-	129 754	67
931	-	-	-	1	61	14 341	-	-	1449	16 977	3 046	6 619	2 630	-	-	-	143 108	68
113	12	-	-	-	23	6 055	16	-	65	4 001	265	5 667	3 716	-	-	-	63 878	69
1044	12	-	-	1	84	20 395	16	-	1514	20 978	3 311	12 285	6 347	-	-	-	206 986	70

Anhang 16: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2019 in Terajoule

		Zeile	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralölprodukte					
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Roßbenzin	Ölkraftstoffe	Dieselmkraftstoffe	Flugturbinenkraftstoff	
Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2019 in Terajoule												
Berechnungsstand: Juni 2021												
Primär-energiebilanz	Gewinnung	1	-	-	-	-	-	6 316	-	-	-	-
	Bezüge	2	1949	263	617	2 973	-	63 654	46 268	77 848	4 927	-
	Bestandsentnahmen	3	-	2	-	7	-	-	-	0	-	-
	Energieaufkommen	4	1949	265	617	2 980	6 316	63 654	46 268	77 848	4 927	-
	Lieferungen	5	-	-	-	-	6 316	-	-	-	-	-
	Bestandsaufstockungen	6	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Primärenergieverbrauch	7	1911	265	617	2 980	-	63 654	46 268	77 848	4 927	-
Umwandlungsbilanz	Umwandlungseinsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und Kälteanlagen (ohne KWK) ¹	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	780	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und Kälteanlagen (nur Strom)	12	614	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	-	-	-	391	-	-	-	-	-
		Hochöfen, Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Umwandlungseinsatz insgesamt	20	1394	-	-	391	-	-	-	-	-
	Umwandlungsausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und Kälteanlagen (ohne KWK) ¹	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und Kälteanlagen (nur Strom)	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)		28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)		29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hochöfen, Konverter		30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Raffinerien		31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sonstige Energieerzeuger		32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Umwandlungsausstoß insgesamt		33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungs-	Kokereien	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Steinkohlenbergbau, Braunkohlenbergbau	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Kraftwerke, Heizwerke	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Erdöl- und Erdgasgewinnung WZ (6)	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mineralölverarbeitung (einschl. Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken) (WZ (19))	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	E.-Verbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Fackel- und Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	42	517	265	617	2 589	-	63 654	46 268	77 848	4 927	
	Nichtenergetischer Verbrauch	43	8	-	-	696	-	63 654	-	-	-	
	Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Endenergieverbrauch nach Sektoren	Endenergieverbrauch	45	509	265	617	1893	-	-	46 268	77 848	4 927	
	Gew. v. Steinen und Erden, sonstiger Bergbau u. Erbringung von Dienstleist.	46	-	-	-	51	-	-	-	6	-	
	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln, Getränkeherst., Tabakverarb.	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (o. Möbel)	49	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Druckerzeugn.; Vervielf. v. bsp. Ton-, Bild- u. Datentr.	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	52	407	-	-	161	-	-	-	-	-	
	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	54	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
	Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	55	81	-	-	1 681	-	-	-	1	-	
	Metallerzeugung und -bearbeitung	56	-	265	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Metallerzeugnissen	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Hertellung von Datenverarbeitungsgeräten, elek. u. opt. Erzeugn., u. elek. Ausrüstungen	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Maschinenbau	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen u. sonstiger Fahrzeugbau	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Übrige Wirtschaftszweige	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau, Gew. von Steinen und Erden	62	487	265	-	1 892	-	-	-	-	8	
	Schienerverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	912	-	
	Straßenverkehr	64	-	-	-	-	-	-	45 251	69 647	-	
	Luftverkehr	65	-	-	-	-	-	-	53	0	4 917	
	Küsten- und Binnenschifffahrt	66	-	-	-	-	-	-	-	594	-	
	Verkehr insgesamt	67	-	-	-	-	-	-	45 304	71 153	4 917	
	Haushalte	68	13	-	617	-	-	-	366	-	-	
	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	69	8	-	-	1	-	-	598	6 687	9	
	Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	70	21	-	617	1	-	-	964	6 687	9	

¹ Einschließlich ungekoppelte Erzeugung in Heizkraftwerken
* z.T. eigene Berechnungen und Schätzungen des LAK Energiebilanzen

Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase	Erneuerbare Energieträger						Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile
Holzöl		Petrolicks	Andere Mineralprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdöl	Külgas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht biogen	Andere	Insgesamt	Zeile
leicht	schwer																
Terajoule																	
-	-	-	-	-	53	847	3 293	24 713	8 914	49 214	3 523	-	-	13 464	4 929	115 266	1
46 430	732	1044	11540	4 550	247 382	-	-	-	-	-	-	26 169	250	-	-	536 597	2
-	0	-	2	4	-	-	-	-	-	64	-	-	-	-	-	79	3
46 430	733	1044	11542	4 554	247 435	847	3 293	24 713	8 914	49 279	3 523	26 169	250	13 464	4 929	651 942	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 344	-	-	-	-	-	8 661	5
9	-	35	-	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-	15	-	120	6
46 421	733	1009	11542	4 554	247 435	847	3 293	24 713	8 914	46 913	3 523	26 169	250	13 449	4 929	643 161	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
6	-	-	-	1	11233	-	-	-	-	4 590	-	-	1391	1920	-	19 140	10
0	-	-	-	0	9 054	14	-	-	-	3 886	-	-	1338	1404	-	16 478	11
12	-	-	-	-	35 877	-	-	-	-	1 535	-	-	572	1233	1 688	41 531	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
-	-	-	-	-	-	739	3 293	24 713	7 398	3 847	210	-	-	-	-	3 293	14
238	-	-	-	11	2 858	-	-	-	2	2 291	-	-	-	1 943	-	36 907	15
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 736	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
11	-	-	613	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	626	18
266	-	-	613	12	59 023	753	3 293	24 713	7 400	16 149	210	3	3 301	6 500	1 688	125 710	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 135	-	-	-	8 135	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4 553	9 163	-	-	13 716	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27 482	-	-	-	27 482	25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 293	-	-	-	3 293	27
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33 718	280	-	-	33 998	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 456	-	-	6 456	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
-	-	-	613	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	621	32
-	-	-	613	-	-	-	-	-	-	-	-	77 188	15 898	-	-	93 699	33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1303	-	-	-	1303	36
-	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	21	-	-	-	46	37
6	-	-	-	358	-	-	-	-	-	-	-	38	-	-	-	402	38
-	-	-	-	679	-	-	-	-	-	-	-	664	280	-	-	1 623	39
6	-	-	-	1061	-	-	-	-	-	-	-	2 026	280	-	-	3 373	40
-	-	-	-	83	63	-	-	-	-	-	-	2 747	1239	-	-	4 132	41
46 149	733	1009	11542	4 542	187 268	30	-	-	1514	30 764	3 313	98 582	11 327	6 949	3 241	603 645	42
-	-	1009	11473	0	39 140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115 979	43
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 549	-	-	2 549	44
46 149	733	0	69	4 542	148 127	30	-	-	1514	30 764	3 313	98 582	13 876	6 949	3 241	490 215	45
45	-	-	-	4	239	-	-	-	-	1	-	374	0	-	-	719	46
277	-	-	-	19	6 145	12	-	-	-	50	-	2 851	44	-	-	9 398	47
14	-	-	-	1	430	-	-	-	-	-	0	437	8	-	-	890	48
82	-	-	-	3	194	-	-	-	-	2 376	0	806	25	-	-	3 485	49
57	-	-	-	15	6 442	-	-	-	-	217	-	4 275	4 377	106	-	15 489	50
4	-	-	-	-	149	-	-	-	-	-	-	184	5	-	-	341	51
144	231	-	-	1	39 823	-	-	-	-	366	-	24 877	943	4 178	3 241	74 371	52
29	-	-	-	2	12 15	-	-	-	-	393	-	780	323	-	-	2 741	53
156	-	-	-	11	2 210	-	-	-	-	5	-	5 037	219	-	-	7 639	54
143	-	-	-	47	9 530	-	-	-	-	62	-	3 852	125	2 665	-	18 188	55
24	-	0	-	-	3 727	-	-	-	-	0	-	3 651	1101	-	-	8 769	56
145	-	-	6	37	1742	-	-	-	-	8	0	194	32	-	-	3 886	57
55	-	-	-	2	252	-	-	-	-	1	1	595	3	-	-	909	58
144	-	-	-	2	1240	-	-	-	-	111	1	1 661	75	-	-	3 260	59
86	-	-	-	6	1091	2	-	-	-	9	-	1 260	222	-	-	2 675	60
66	-	-	-	9	182	-	-	-	-	139	0	289	28	-	-	714	61
1468	231	0	8	183	74 611	14	-	-	-	3 740	2	52 845	7 530	6 949	3 241	153 475	62
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	-	1 465	-	-	-	2 423	63
-	-	-	-	730	93	-	-	-	-	5 968	-	46	-	-	-	12 174	64
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4 971	65
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	626	66
-	-	-	-	730	93	-	-	-	-	6 046	-	150	-	-	-	12 975	67
39 857	-	-	61	2 639	51 626	-	-	-	1449	16 977	3 046	23 828	2 630	-	-	143 108	68
4 824	502	-	-	990	21 797	16	-	-	65	4 001	265	20 400	3 716	-	-	63 878	69
44 680	502	-	61	3 629	73 423	16	-	-	1514	20 978	3 311	44 228	6 347	-	-	206 986	70

Anhang 17: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2019 in Kilowattstunden

Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2019 in Millionen Kilowattstunden		Zeile	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralölprodukte				
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ölkräftstoffe	Dieselskräftstoffe	Flugturbinenkräftstoff
Berechnungsstand: Juni 2021											
Primär- energiebilanz	Gewinnung	1	-	-	-	-	1755	-	-	-	-
	Bezüge	2	542	73	171	826	-	17 682	12 852	21 624	1369
	Bestandsentnahmen	3	-	1	-	2	-	-	-	0	-
	Energieaufkommen	4	542	74	171	828	1755	17 682	12 852	21 624	1369
	Lieferungen	5	-	-	-	-	1755	-	-	-	-
	Bestandsaufstockungen	6	11	-	-	-	-	-	-	-	-
	Primärenergieverbrauch	7	531	74	171	828	-	17 682	12 852	21 624	1369
Umwandlungsbilanz	Umwandlungseinsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	217	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK (nur Strom)	12	170	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-
		Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	-	-	-	109	-	-	-	-
		Hochöfen, Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-
	Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Umwandlungseinsatz insgesamt	20	387	-	-	109	-	-	-	-	-
	Umwandlungsausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	23	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK (nur Strom)	25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	26	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	27	-	-	-	-	-	-	-	-
Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)		28	-	-	-	-	-	-	-	-	
Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)		29	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hochöfen, Konverter		30	-	-	-	-	-	-	-	-	
Raffinerien		31	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sonstige Energieerzeuger		32	-	-	-	-	-	-	-	-	
Umwandlungsausstoß insgesamt		33	-	-	-	-	-	-	-	-	
Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungs-	Kokereien	34	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Steinkohlenbergbau, Braunkohlenbergbau	35	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Kraftwerke, Heizwerke	36	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Erdöl- und Erdgasgewinnung WZ (6)	37	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mineralölverarbeitung (einschl. Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken) (WZ (19))	38	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	-	-	
	E-Verbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	40	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Fackel- und Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-	-	
Energieerzeugung	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	42	144	74	171	719	-	17 682	12 852	21 624	1369
	Nichtenergetischer Verbrauch	43	2	-	-	193	-	17 682	-	-	-
	Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energieverbrauch nach Sektoren	Endenergieverbrauch	45	141	74	171	526	-	-	12 852	21 624	1369
	Gew. v. Steinen und Erden, sonstiger Bergbau u. Erbringung von Dienstleist.	46	-	-	-	14	-	-	-	2	-
	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln, Getränkeherst., Tabakverarb.	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (o. Möbel)	49	-	-	-	-	-	-	-	0	-
	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Druckerzeugn.; Vervielf. v. bsp. Ton-, Bild- u. Datentr.	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	52	113	-	-	45	-	-	-	-	-
	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	54	-	-	-	-	-	-	-	0	-
	Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	55	22	-	-	467	-	-	-	0	-
	Metallerzeugung und -bearbeitung	56	-	74	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Metallerzeugnissen	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elek. u. opt. Erzeugn., u. elek. Ausrüstungen	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Maschinenbau	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen u. sonstiger Fahrzeugbau	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Übrige Wirtschaftszweige	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau, Gew. von Steinen und Erden	62	135	74	-	526	-	-	-	2	-
	Schienerverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	253	-
	Straßenverkehr	64	-	-	-	-	-	-	12 570	19 346	-
	Luftverkehr	65	-	-	-	-	-	-	15	0	1366
	Küsten- und Binnenschifffahrt	66	-	-	-	-	-	-	-	165	-
	Verkehr insgesamt	67	-	-	-	-	-	-	12 585	19 765	1366
	Haushalte	68	4	-	171	-	-	-	102	-	-
	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	69	2	-	-	0	-	-	166	1857	3
	Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	70	6	-	171	0	-	-	268	1857	3

¹Einschließlich ungekoppelte Erzeugung in Heizkraftwerken.
* z.T. eigene Berechnungen und Schätzungen des LAK Energiebilanzen

Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase	Erneuerbare Energieträger						Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile
Heizöl		Petrolöcke	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdölgas	Külgas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht biogen	Andere		
leicht	schwer																
Mill. kWh																	
-	-	-	-	-	15	235	915	6 865	2 476	13 671	979	-	-	3 740	1 369	32 018	1
12 897	203	290	3 206	1264	68 717	-	-	-	-	-	-	7 269	69	-	-	149 055	2
-	0	-	0	1	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	22	3
12 897	203	290	3 206	1265	68 732	235	915	6 865	2 476	13 689	979	7 269	69	3 740	1 369	181 095	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	651	-	-	-	-	-	2 406	5
3	-	10	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	4	-	33	6
12 895	203	280	3 206	1265	68 732	235	915	6 865	2 476	13 031	979	7 269	69	3 736	1 369	178 656	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
2	-	-	-	0	3 120	-	-	-	-	1275	-	-	386	533	-	5 317	10
0	-	-	-	0	2 515	4	-	-	-	1079	-	-	372	390	-	4 577	11
3	-	-	-	-	9 966	-	-	-	-	427	-	-	159	343	469	11 536	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
-	-	-	-	-	-	-	915	-	-	-	-	-	-	-	-	915	14
-	-	-	-	-	-	205	-	6 865	2 055	1068	58	-	-	-	-	10 252	15
66	-	-	-	3	794	-	-	-	1	637	-	-	-	540	-	2 149	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
3	-	-	170	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	174	19
74	-	-	170	3	16 395	209	915	6 865	2 056	4 486	58	1	917	1 805	469	34 920	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 260	-	-	-	2 260	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1265	2 545	-	-	3 810	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 634	-	-	-	7 634	25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	915	-	-	-	915	27
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9 366	78	-	-	9 444	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 793	-	-	1 793	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
-	-	-	170	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	172	32
-	-	-	170	-	-	-	-	-	-	-	-	2 1441	4 416	-	-	26 028	33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	362	-	-	-	362	35
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	13	36
2	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	112	37
-	-	-	-	-	99	-	-	-	-	-	-	184	78	-	-	451	38
2	-	-	-	-	188	-	-	-	-	-	-	563	78	-	-	937	39
-	-	-	-	-	295	-	-	-	-	-	-	763	344	-	-	1 148	40
-	-	-	-	-	23	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41
12 819	203	280	3 206	1262	62 019	8	-	-	421	8 545	920	27 384	3 146	1 930	900	167 679	42
-	-	280	3 187	0	10 872	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32 217	43
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	708	-	-	708	44
12 819	203	0	19	1262	41 146	8	-	-	421	8 545	920	27 384	3 855	1 930	900	136 711	45
12	-	-	-	1	66	-	-	-	-	0	-	104	0	-	-	200	46
77	-	-	-	5	1 707	3	-	-	-	14	-	792	12	-	-	2 611	47
4	-	-	-	0	119	-	-	-	-	-	0	121	2	-	-	247	48
23	-	-	-	1	54	-	-	-	-	660	0	224	7	-	-	968	49
16	-	-	-	4	1 789	-	-	-	-	60	-	1 188	1216	29	-	4 303	50
1	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	-	51	1	-	-	95	51
40	64	-	-	0	11 062	-	-	-	-	102	-	6 910	262	1 161	900	20 659	52
8	-	-	-	1	338	-	-	-	-	109	-	217	90	-	-	761	53
43	-	-	-	3	614	-	-	-	-	1	-	1 399	61	-	-	2 122	54
40	-	-	-	13	2 647	-	-	-	-	17	-	1 070	35	740	-	5 052	55
7	-	0	-	-	10 355	-	-	-	-	0	-	1014	306	-	-	2 436	56
40	-	-	2	10	484	-	-	-	-	2	0	532	9	-	-	1 079	57
15	-	-	-	1	70	-	-	-	-	0	0	165	1	-	-	252	58
40	-	-	-	1	7	344	-	-	-	31	0	461	21	-	-	906	59
24	-	-	-	2	303	1	-	-	-	2	-	350	62	-	-	743	60
18	-	-	-	2	51	-	-	-	-	39	0	80	8	-	-	198	61
408	64	0	2	51	20 725	4	-	-	-	1039	1	14 679	2 092	1 930	900	42 632	62
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	407	-	-	-	673	63
-	-	-	-	203	26	-	-	-	-	1 658	-	13	-	-	-	33 815	64
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 381	65
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	174	66
-	-	-	-	203	26	-	-	-	-	1 680	-	420	-	-	-	36 043	67
11 071	-	-	17	733	14 341	-	-	-	402	4 716	846	6 619	731	-	-	39 752	68
1340	139	-	-	275	6 055	4	-	-	18	1 111	74	5 667	1 032	-	-	17 744	69
12 411	139	-	17	1 008	20 395	4	-	-	421	5 827	920	12 285	1 763	-	-	57 496	70

Anhang 18: Zeichenerklärung zur Darstellung der Energiebilanz

Zeichenerklärung	
0	Zahl ungleich null, Betrag jedoch kleiner als die Hälfte von 1 in der letzten ausgewiesenen Stelle
-	nichts vorhanden
.	Zahl unbekannt oder geheim
x	Nachweis nicht sinnvoll
...	Zahl fällt später an
/	keine Angabe, da Zahl nicht sicher genug
()	Aussagewert eingeschränkt, da Zahl statistisch unsicher
D	Durchschnitt
p	vorläufig
r	revidiert
s	geschätzt
<p>Für die Abgrenzung von Größenklassen wird im Allgemeinen anstelle einer ausführlichen Beschreibung „von 50 bis unter 100“ die Darstellungsform „50–100“ verwendet.</p> <p>Einzelwerte in Tabellen werden im Allgemeinen ohne Rücksicht auf die Endsumme gerundet.</p>	

Anhang 19: Satellitenbilanz „Erneuerbare Energieträger“ 2018

Satellitenbilanz "Erneuerbare Energieträger" zur Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2018		Wasserkraft	Windkraft	Biomasse						Solarenergie			Klär- gas	Deponie- gas	Sonstige erneuer- bare Energie- träger ¹	Erneuer- bare Energien insgesam- t	Anteil erneuer- bare an allen Energie- trägern		
				zu- sammen	Feste biogene Stoffe	Biogener Anteil des Abfalls	Biogene Kraftstoffe	Flüssige biogene Stoffe	Biogas, Bio- methan	Klär- schlamm	zu- sammen	Foto- voltaik						Solar- thermie	
Berechnungsstand: Januar 2021		Terajoule															%		
PRIMÄR- ENERGIEBILANZ	Gewinnung	2 956	22 290	46 131	28 210	5 332	5 710	191	5 696	993	8 885	7 301	1 584	748	89	3 194	84 294	77,1	
	Bezüge	-	-	744	-	-	744	-	-	-	-	-	-	-	-	-	744	0,1	
	Bestandsentnahmen	-	-	27	-	27	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	27	9,7	
	Energieaufkommen	2 956	22 290	46 902	28 210	5 358	6 454	191	5 696	993	8 885	7 301	1 584	748	89	3 194	85 064	13,1	
	Lieferungen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
	Bestandsaufstockungen	-	-	178	178	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	178	44,4	
	Primärenergieverbrauch	2 956	22 290	46 724	28 033	5 358	6 454	191	5 696	993	8 885	7 301	1 584	748	89	3 194	84 886	13,2	
UMWANDLUNGSBILANZ	Wärmeleistung der allgemeinen Versorgung (ohne KWK)	-	-	4 679	2 794	1 746	-	27	111	1	-	-	-	0	-	-	4 680	33,1	
	Heizleistung der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	-	-	3 783	1 109	1 515	-	152	1 002	6	-	-	-	4	-	-	3 788	25,6	
	Industriewärmeleistung	-	-	1 280	672	82	-	-	55	470	-	-	-	-	-	-	1 280	3,0	
	Wasserkraftwerke	2 956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 956	100,0	
	Windkraft-, Fotovoltaik- und andere Anlagen	-	22 290	4 351	-	-	-	-	4 349	2	7 301	7 301	-	660	89	158	34 848	100,0	
	Heizwerke	-	-	2 161	178	1 930	-	2	52	0	-	-	-	-	-	-	2 161	25,0	
	Sonstige Energieerzeuger	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	
	Umwandlungseinsatz insgesamt	2 956	22 290	16 255	4 753	5 273	-	180	5 569	480	7 301	7 301	-	664	89	158	49 714	41,7	
	Umwandlungsausstoß insgesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
	Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
	Fackel- und Leitungsverluste	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	-	-	53	1,0	
	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	-	-	30 469	23 280	85	6 454	10	127	513	1 584	-	1 584	31	-	3 036	35 120	5,8	
Nichtenergetischer Verbrauch	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	
Statistische Differenzen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	
END- ENERGIE- VER- BRAUCH	Endenergieverbrauch	-	-	30 469	23 280	85	6 454	10	127	513	1 584	-	1 584	31	-	3 036	35 120	7,2	
	Gew. Steine u. Erden, sonst. Bergbau, Verarbeitendes Gewerbe insgesamt	-	-	3 898	3 162	85	1	10	127	513	-	-	-	13	-	2	3 912	2,5	
	Verkehr insgesamt	-	-	6 046	-	-	6 046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 046	4,7	
	Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen u. übrige Verbraucher	-	-	20 525	20 118	-	407	-	-	-	1 584	-	1 584	19	-	3 034	25 161	12,6	

1 Geothermie, Umweltsysteme (Wärmepumpe).

Anhang 20: Satellitenbilanz „Erneuerbare Energieträger“ 2019

Satellitenbilanz "Erneuerbare Energieträger" zur Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2019		Wasser- kraft	Windkraft	Biomasse							Solarenergie			Klär- gas	Deponie- gas	Sonstige erneuer- bare Energie- träger ¹	Erneuer- bare Energien insge- samt	Anteil erneuer- bare an allen Energie- trägern
				zu- sam- men	Feste biogene Stoffe	Biogener Anteil des Abfalls	Biogene Kraftstoffe	Flüssige biogene Stoffe	Biogas, Bio- methan	Klär- schlamm	zu- sam- men	Foto- voltaik	Solar- thermie					
Berechnungsstand: Juni 2021		Terajoule															%	
PRIMÄR- ENERGIEBILANZ	Gewinnung	3 293	24 713	49 214	27 987	5 479	8 826	211	5 561	1 150	8 914	7 398	1 516	761	85	3 523	90 504	78,5
	Bezüge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
	Bestandsentnahmen	-	-	64	64	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	82,0
	Energieaufkommen	3 293	24 713	49 279	28 051	5 479	8 826	211	5 561	1 150	8 914	7 398	1 516	761	85	3 523	90 568	13,9
	Lieferungen	-	-	2 344	-	-	2 344	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 344	27,1
	Bestandsaufstockungen	-	-	22	-	5	-	16	-	1	-	-	-	-	-	-	22	18,0
Primärenergieverbrauch		3 293	24 713	46 913	28 051	5 475	6 482	195	5 561	1 149	8 914	7 398	1 516	761	85	3 523	88 203	13,7
UMWANDLUNGSBILANZ	Wärme- kraftwerke der allgemeinen Versorgung (ohne KWK)	-	-	4 590	2 560	1 920	-	24	85	1	-	-	-	-	-	-	4 590	24,0
	Heiz- kraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	-	-	3 886	983	1 404	-	162	1 330	7	-	-	-	14	-	-	3 900	23,7
	Industrie- wärmekraftwerke	-	-	1 535	664	102	-	-	57	712	-	-	-	-	-	-	1 535	3,7
	Wasser- kraftwerke	3 293	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 293	100,0
	Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen	-	24 713	3 847	-	-	-	-	3 839	7	7 398	7 398	-	654	85	210	36 907	100,0
	Heiz- werke	-	-	2 291	228	1 943	-	2	118	0	2	-	-	2	-	-	2 293	29,6
	Sonstige Energieerzeuger	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
	Umwandlungseinsatz insgesamt	3 293	24 713	16 149	4 435	5 369	-	188	5 430	728	7 400	7 398	2	668	85	210	52 519	41,8
	Umwandlungsausstoß insgesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
	Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
	Fackel- und Leitungsverluste	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	-	-	63	1,5
Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	-	-	30 764	23 616	106	6 482	7	131	422	1 514	-	1 514	30	-	3 313	35 620	5,9	
Nichtenergetischer Verbrauch	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	
Statistische Differenzen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	
END- ENERGIE- VER- BRAUCH	Endenergieverbrauch	-	-	30 764	23 616	106	6 482	7	131	422	1 514	-	1 514	30	-	3 313	35 620	7,3
	Gew. Steine u. Erden, sonst. Bergbau, Verarbeitendes Gewerbe insgesamt	-	-	3 740	3 073	106	0	7	131	422	-	-	-	14	-	2	3 756	2,4
	Verkehr insgesamt	-	-	6 046	-	-	6 046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 046	4,7
	Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen u. übrige Verbraucher	-	-	20 978	20 543	-	435	-	-	-	1 514	-	1 514	16	-	3 311	25 818	12,5

¹ Geothermie, Umwältwärme (Wärmepumpe).

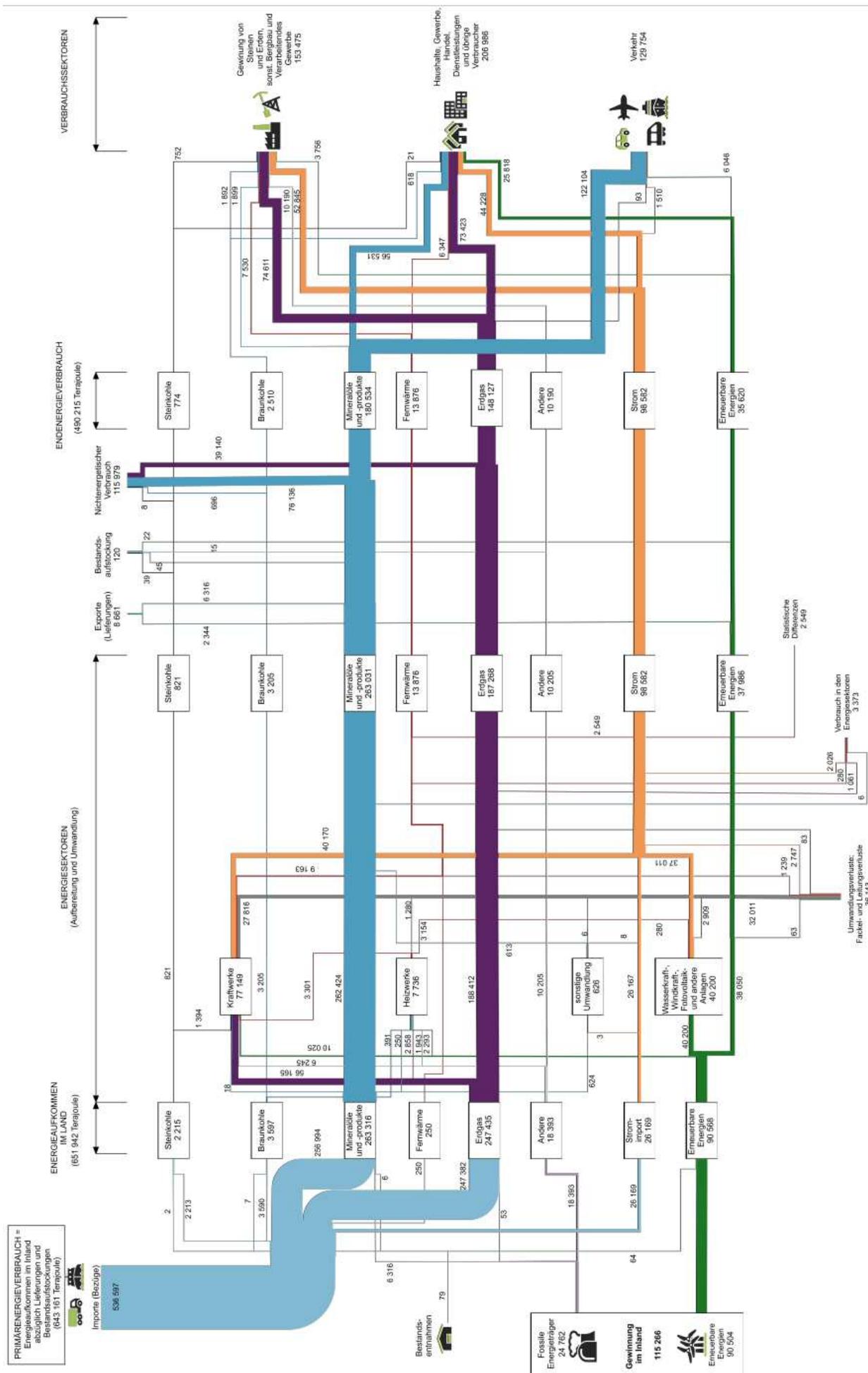
Anhang 21: Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeeinheiten zur rheinland-pfälzischen Energiebilanz 2018

Energieträger	Mengeneinheit	Heizwert (kJ)	SKE-Faktor
Steinkohlen ¹⁾	kg	27 368	0,934
Steinkohlenkoks ²⁾	kg	28 739	0,981
Steinkohlenbriketts ²⁾	kg	31 398	1,071
Braunkohlen ¹⁾	kg	9 050	0,309
Braunkohlenbriketts ²⁾	kg	19 610	0,669
Andere Braunkohlenprodukte ²⁾	kg	21 779	0,743
Erdöl (roh)	kg	42 505	1,450
Ottokraftstoff	kg	43 542	1,486
Rohbenzin	kg	44 000	1,501
Flugkraftstoff, Petroleum	kg	42 800	1,460
Dieselmotorkraftstoff	kg	42 648	1,455
Heizöl, leicht	kg	42 816	1,461
Heizöl, schwer	kg	40 343	1,377
Petrolkoks	kg	32 000	1,092
Flüssiggas	kg	43 074	1,470
Andere Mineralölprodukte	kg	39 501	1,348
Erdgas ³⁾	m ³	35 182	1,200
Brennholz	kg	14 315	0,488
Klärgas, Deponiegas, Biogas (Methangasanteil)	m ³	35 888	1,225
Rapsölmethylester (Biodiesel)	kg	37 100	1,266
Elektrischer Strom	kWh	3 600	0,123
¹⁾ Durchschnittswert für den Primärenergieverbrauch; im übrigen gelten unterschiedliche Heizwerte. ²⁾ Durchschnittswert für die Produktion und Einfuhr; im übrigen gelten unterschiedliche Heizwerte. ³⁾ Wenn statistische Daten auf H _o beruhen, mit Faktor 0,9024 in H _u umrechnen. Stand: April 2020			

Anhang 22: Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeeinheiten zur rheinland-pfälzischen Energiebilanz 2019

Energieträger	Mengen- einheit	Heizwert (kJ)	SKE-Faktor
Steinkohlen ¹⁾	kg	27 374	0,934
Steinkohlenkoks ²⁾	kg	28 739	0,981
Steinkohlenbriketts ²⁾	kg	31 397	1,071
Braunkohlen ¹⁾	kg	9 061	0,309
Braunkohlenbriketts ²⁾	kg	19 604	0,669
Andere Braunkohlenprodukte ²⁾	kg	21 830	0,745
Erdöl (roh)	kg	42 505	1,450
Ottokraftstoff	kg	43 542	1,486
Rohbenzin	kg	44 000	1,501
Flugkraftstoff, Petroleum	kg	42 800	1,460
Dieselmkraftstoff	kg	42 648	1,455
Heizöl, leicht	kg	42 816	1,461
Heizöl, schwer	kg	40 343	1,377
Petrolkoks	kg	32 000	1,092
Flüssiggas	kg	43 074	1,470
Andere Mineralölprodukte	kg	39 501	1,348
Erdgas ³⁾	m ³	35 182	1,200
Brennholz	kg	14 315	0,488
Klärgas, Deponiegas, Biogas (Methangasanteil)	m ³	35 888	1,225
Rapsölmethylester (Biodiesel)	kg	37 100	1,266
Elektrischer Strom	kWh	3 600	0,123
¹⁾ Durchschnittswert für den Primärenergieverbrauch; im übrigen gelten unterschiedliche Heizwerte. ²⁾ Durchschnittswert für die Produktion und Einfuhr; im übrigen gelten unterschiedliche Heizwerte. ³⁾ Wenn statistische Daten auf H _o beruhen, mit Faktor 0,9024 in H _u umrechnen Stand: Juli 2021			

Anhang 23: Energieflussbild Rheinland-Pfalz 2019



4.1 Rahmenbedingungen und Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs

Anhang 24: Ausgewählte Kennzahlen und Indikatoren zum Energieverbrauch 1990-2019

Merkmal	Einheit	1990	1991	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Primärenergieverbrauch (PEV)										
Rheinland-Pfalz	Mrd. kWh	160,7	165,6	180,1	186,1	176,6	178,9	182,7	178,0	178,7
Deutschland	Mrd. kWh	4140,3	4058,3	4000,2	3949,1	3683,8	3747,4	3756,4	3647,0	3549,7
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	3,9	4,1	4,5	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0
Rheinland-Pfalz	Messzahl	100,0	103,1	112,1	115,8	109,9	111,3	113,7	110,8	111,2
Deutschland	Messzahl	100,0	98,0	96,6	95,4	89,0	90,5	90,7	88,1	85,7
PEV je Einwohner										
Rheinland-Pfalz	1 000 kWh	43,0	43,7	44,7	46,5	43,8	44,1	44,9	43,6	43,7
Deutschland	1 000 kWh	52,2	50,7	49,1	49,2	45,1	45,5	45,4	44,0	42,7
Primärenergieproduktivität¹										
Rheinland-Pfalz	Messzahl	.	100	98,4	102,6	117,9	117,7	116,7	120,6	120,1
Deutschland	Messzahl	.	100	116,9	128,9	150,3	151,0	154,6	161,2	166,5
Endenergieverbrauch (EEV)										
Rheinland-Pfalz	Mrd. kWh	118,2	126,2	138,0	135,7	128,3	131,2	132,1	134,9	136,2
Deutschland	Mrd. kWh	2631,2	2601,6	2565,2	2586,0	2471,7	2519,8	2557,7	2489,7	2515,5
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	4,5	4,8	5,4	5,2	5,2	5,2	5,2	5,4	5,4
Rheinland-Pfalz	Messzahl	100	106,7	116,8	114,8	108,5	111,0	111,7	114,1	115,2
Deutschland	Messzahl	100	98,9	97,5	98,3	93,9	95,8	97,2	94,6	95,6
EEV je Einwohner										
Rheinland-Pfalz	1 000 kWh	31,7	33,3	34,3	33,9	31,8	32,3	32,4	33,1	33,3
Deutschland	1 000 kWh	33,2	32,5	31,5	32,2	30,3	30,6	30,9	30,0	30,3
Endenergieproduktivität¹										
Rheinland-Pfalz	Messzahl	.	100	97,8	107,2	123,6	122,2	123,0	121,2	120,0
Deutschland	Messzahl	.	100	116,8	126,2	143,6	144,0	145,5	151,4	150,7
EEV der Industrie										
Rheinland-Pfalz	Mrd. kWh	37,4	39,5	47,9	42,8	41,8	42,6	42,1	43,2	42,6
Deutschland	Mrd. kWh	826,9	748,3	672,6	720,1	707,7	724,8	740,5	722,4	704,4
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	4,5	5,3	7,1	5,9	5,9	5,9	5,7	6,0	6,1
EEV im Verkehr										
Rheinland-Pfalz	Mrd. kWh	28,8	29,7	37,2	36,9	36,2	36,9	37,4	36,1	36,0
Deutschland	Mrd. kWh	660,8	674,5	764,3	710,9	728,0	747,1	768,1	761,9	769,5
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	4,4	4,4	4,9	5,2	5,0	4,9	4,9	4,7	4,7
EEV der Haushalte und Kleinverbraucher²										
Rheinland-Pfalz	Mrd. kWh	51,9	57,0	52,9	56,1	50,3	51,8	52,5	55,6	57,5
Deutschland	Mrd. kWh	1143,5	1178,9	1128,3	1155,0	1035,9	1047,8	1049,0	1005,4	1041,5
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	4,5	4,8	4,7	4,9	4,9	4,9	5,0	5,5	5,5

1 Bruttoinlandsprodukt (BIP) preisbereinigt, verkettet je Einheit Primär- bzw. Endenergie.

2 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2021), Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (Berechnungsstand: September 2020), Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder (Berechnungsstand: August 2020/Februar 2021)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 25: Ausgewählte Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs 1990-2019

Merkmal	Einheit	1990	1991	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Einwohner im Jahresdurchschnitt ¹										
Rheinland-Pfalz	1 000	3 734	3 792	4 028	3 999	4 032	4 059	4 070	4 079	4 089
	Messzahl	100	101,6	107,9	107,1	108,0	108,7	109,0	109,3	109,5
Deutschland	1 000	79 365	79 973	81 457	80 284	81 687	82 349	82 657	82 906	83 093
	Messzahl	100	100,8	102,6	101,2	102,9	103,8	104,1	104,5	104,7
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	4,7	4,7	4,9	5,0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Haushalte ²										
Rheinland-Pfalz	1 000	.	1 590	1 793	1 869	1 901	1 924	1 935	1 939	1 922
Deutschland	1 000	.	34 605	37 422	39 722	40 256	40 397	40 721	40 805	40 902
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	.	4,6	4,8	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,7
Bruttoinlandsprodukt (BIP)										
BIP in je weiligen Preisen										
Rheinland-Pfalz	Mill. Euro	.	76 346	93 617	112 475	132 924	136 301	139 840	143 015	146 365
	Messzahl	.	100	122,6	147,3	174,1	178,5	183,2	187,3	191,7
Deutschland	Mill. Euro	.	1 585 800	2 109 090	2 564 400	3 026 180	3 134 740	3 259 860	3 356 410	3 449 050
	Messzahl	.	100	133,0	161,7	190,8	197,7	205,6	211,7	217,5
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	.	4,8	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,3	4,2
BIP preisbereinigt										
Rheinland-Pfalz	Messzahl	.	100	107,0	115,3	125,8	127,1	128,8	129,6	129,6
Deutschland	Messzahl	.	100	115,2	125,4	136,4	139,4	143,1	144,9	145,7
Industrie ³ (Rheinland-Pfalz)										
Betriebe	Anzahl	.	.	2 303	2 196	2 244	2 234	2 222	2 204	2 248
Beschäftigte	Anzahl	.	.	305 086	275 006	291 082	290 788	293 928	297 067	300 818
Umsatz	Mill. Euro	.	.	61 277	78 879	91 840	91 996	99 426	105 856	98 286
Wohnverhältnisse										
Wohnfläche										
Rheinland-Pfalz	1 000 m ²	.	.	172 447	199 787	206 474	207 969	209 415	211 108	212 713
Deutschland	1 000 m ²	.	.	3 179 728	3 557 922	3 670 870	3 698 008	3 725 902	3 753 715	3 782 746
Wohnfläche je Wohnung										
Rheinland-Pfalz	m ²	.	.	97	104	105	105	105	105	105
Deutschland	m ²	.	.	85	91	92	92	92	92	92
Wohnfläche je Einwohner										
Rheinland-Pfalz	m ²	.	.	43	50	51	51	51	52	52
Deutschland	m ²	.	.	39	44	45	45	45	45	46
Einfamilienhausquote ⁴										
Rheinland-Pfalz	%	.	.	68,7	72,7	72,9	72,9	72,9	72,9	72,9
Deutschland	%	.	.	61,9	66,2	66,6	66,6	66,7	66,7	66,7
Verkehr ⁵										
Kraftfahrzeuge insgesamt										
Rheinland-Pfalz	Anzahl	2 203 252	2 246 043	2 707 177	2 710 686	2 901 080	2 947 349	2 997 387	3 040 984	3 090 622
	Messzahl	100	101,9	122,9	123,0	131,7	133,8	136,0	138,0	140,3
Deutschland	Anzahl	35 748 278	.	51 364 673	50 184 419	53 715 641	54 602 441	55 568 268	56 459 008	57 305 201
	Messzahl	100	.	143,7	140,4	150,3	152,7	155,4	157,9	160,3
Pkw										
Rheinland-Pfalz	Anzahl	1 863 792	1 900 229	2 231 627	2 223 969	2 374 497	2 410 786	2 449 404	2 482 960	2 520 846
	Messzahl	100	102,0	119,7	119,3	127,4	129,3	131,4	133,2	135,3
mit Ottokraftstoffen betrieben	%	.	.	86,4	72,7	66,7	65,7	65,0	65,0	65,4
mit Dieselmotoren betrieben	%	.	.	13,6	26,4	32,0	33,0	33,7	33,5	33,0
Elektro-/Hybrid- oder sonstig betrieben	%	.	.	0,0	0,9	1,3	1,3	1,3	1,4	1,6
Deutschland	Anzahl	30 684 811	.	42 839 906	41 737 627	44 403 124	45 071 209	45 803 560	46 474 594	47 095 784
	Messzahl	100	.	139,6	136,0	144,7	146,9	149,3	151,5	153,5
Lkw (Rheinland-Pfalz)										
Rheinland-Pfalz	Anzahl	81 426	83 412	116 025	114 475	129 215	133 226	138 920	144 063	149 831
	Messzahl	100	102,4	142,5	140,6	158,7	163,6	170,6	176,9	184,0
Kraftfahrzeuge je 1 000 Einwohner										
Rheinland-Pfalz	Anzahl	590	592	672	678	719	726	736	745	756
Deutschland	Anzahl	450	.	631	625	658	663	672	681	690
Pkw je 1 000 Haushalte										
Rheinland-Pfalz	Anzahl	.	1 195	1 245	1 190	1 249	1 253	1 266	1 281	1 312
Deutschland	Anzahl	.	.	1 145	1 051	1 103	1 116	1 125	1 139	1 151

1 Datenbasis: Fortschreibung des Bevölkerungsstandes auf der Basis des Zensus 2011.

2 Aufgrund methodischer Änderungen sind die Werte ab 2016, 2011 bzw. 2005 nicht direkt mit den Werten vor 2016, 2011 bzw. 2005 vergleichbar.

3 Betriebe von Unternehmen mit 20 und mehr Beschäftigten im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden.

Die zeitliche Vergleichbarkeit unterliegt Einschränkungen durch unterschiedliche Wirtschaftszweigklassifikationen mit Änderungen in den Jahren 1995, 2003 und 4 Aufgrund einer Aktualisierung der Fortschreibungsbasis sind die Ergebnisse bis 2009 nur eingeschränkt mit den Folgejahren vergleichbar.

5 Aufgrund methodischer Änderungen sind die Ergebnisse bis 2007 nur eingeschränkt mit den Folgejahren vergleichbar.

Quellen: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder (Berechnungsstand: August 2020/Februar 2021), Industriestatistiken, Mikrozensus, Gebäude- und Wohnungszählung, Kraftfahrt-Bundesamt

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 26: Bruttowertschöpfung¹ 2000–2020 nach Wirtschaftsbereichen

Jahr	Bruttowertschöpfung aller Wirtschaftsbereiche	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	Produzierendes Gewerbe (ohne Baugewerbe)	darunter: Verarbeitendes Gewerbe	Baugewerbe	Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information und Kommunikation	Finanz-, Versicherungs- u. Unterdienstleister, Grundstücks- u. Wohnungswesen	Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung, Gesundheit
	Mill. EUR	%						
Rheinland-Pfalz								
2000	84 417	1,5	30,6	27,2	5,0	19,4	20,7	22,9
2001	84 781	1,6	30,1	26,7	4,7	19,4	21,5	22,9
2002	86 537	1,5	29,5	26,0	4,6	19,5	21,8	23,1
2003	86 989	1,5	28,9	25,5	4,3	19,2	22,7	23,5
2004	89 968	1,5	29,6	26,0	4,1	19,2	22,6	23,0
2005	90 052	1,4	29,7	26,1	3,8	19,3	22,7	23,0
2006	93 571	1,4	30,0	26,4	4,1	19,2	22,5	22,8
2007	97 066	1,4	30,8	27,1	4,2	19,0	22,3	22,3
2008	98 419	1,5	29,9	26,2	4,3	19,0	22,3	23,0
2009	95 185	1,3	27,9	24,0	4,6	18,8	22,9	24,4
2010	101 127	1,8	29,3	25,9	4,7	18,2	22,5	23,6
2011	105 324	1,5	29,8	26,7	4,8	18,0	22,4	23,4
2012	108 223	1,5	30,5	26,8	4,9	17,5	22,1	23,5
2013	110 612	1,8	29,1	25,7	4,8	17,6	23,0	23,7
2014	114 806	1,6	28,8	25,7	4,9	18,1	23,1	23,5
2015	119 564	1,4	29,7	26,6	4,9	18,0	22,6	23,3
2016	122 722	1,4	29,8	26,6	5,1	18,0	22,2	23,5
2017	125 978	1,4	29,3	25,7	5,1	18,2	22,2	23,8
2018	128 869	1,5	28,5	25,0	5,4	18,5	22,0	24,1
2019	131 814	1,3	27,4	24,0	5,8	18,8	22,1	24,6
2020	128 348	1,2	25,8	22,0	6,7	18,7	22,4	25,2
Deutschland								
2000	1 901 809	1,1	25,6	22,8	5,2	20,5	26,2	21,4
2001	1 962 576	1,2	25,2	22,5	4,7	21,1	26,4	21,3
2002	1 987 125	1,0	24,7	21,9	4,5	21,2	26,9	21,7
2003	1 996 524	0,9	24,7	22,0	4,3	20,9	27,3	21,9
2004	2 049 674	1,0	25,1	22,1	4,1	20,9	27,3	21,7
2005	2 069 658	0,8	25,2	22,2	3,9	21,0	27,4	21,7
2006	2 156 957	0,8	26,0	22,8	3,9	21,0	27,2	21,2
2007	2 247 830	0,9	26,4	23,2	3,9	21,0	27,2	20,6
2008	2 289 553	0,9	25,9	22,3	4,0	21,1	27,2	20,9
2009	2 192 834	0,8	23,4	19,7	4,2	21,4	27,7	22,5
2010	2 305 684	0,9	25,5	21,9	4,3	20,1	27,1	22,0
2011	2 418 099	1,0	25,8	22,5	4,4	20,2	26,9	21,7
2012	2 465 800	0,9	25,9	22,4	4,5	20,0	26,7	21,9
2013	2 527 883	1,0	25,3	22,2	4,4	20,1	27,0	22,1
2014	2 635 393	1,0	25,5	22,5	4,5	20,3	26,7	22,0
2015	2 722 020	0,8	25,6	22,6	4,6	20,4	26,7	22,0
2016	2 822 443	0,8	25,9	22,9	4,7	20,4	26,2	21,9
2017	2 936 703	0,9	25,8	22,7	4,7	20,5	26,1	21,9
2018	3 024 422	0,7	25,5	22,3	4,9	20,8	26,0	22,1
2019	3 106 157	0,8	24,3	21,2	5,4	21,1	25,9	22,6
2020	3 013 885	0,7	22,9	19,7	6,1	20,9	26,2	23,3

¹ In je weiligen Preisen.

Quellen: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder (Berechnungsstand: August 2020/Februar 2021)

4.2 Entwicklung der Energiepreise

Anhang 27: Index¹ der Erzeugerpreise für gewerbliche Produkte, Energie und ausgewählte Energieträger in Deutschland

Jahr	Erzeugerpreis- index für gewerbliche Produkte	Erzeugerpreis- index für gewerbliche Produkte ohne Energie	Erzeugerpreis- index für Energie	Elektrischer Strom	Erdgas (Verteilung) ²	Schweres Heizöl	Leichtes Heizöl	Braunkohle
2015 = 100								
2000	79,5	86,0	63,2	71,9	48,5	.	69,0	75,4
2001	81,9	87,2	69,0	72,6	62,4	.	63,2	76,3
2002	81,4	87,4	66,5	73,0	55,4	.	58,1	76,7
2003	82,8	87,7	71,2	79,2	61,0	.	59,9	77,6
2004	84,2	89,0	72,9	83,3	58,9	.	68,5	77,3
2005	87,8	90,4	82,1	90,1	71,2	.	91,7	79,0
2006	92,6	92,1	94,1	105,1	88,6	.	102,8	81,7
2007	93,8	94,2	93,3	105,0	86,4	.	101,3	84,5
2008	99,0	96,4	105,4	118,4	103,0	.	133,3	82,7
2009	94,8	94,2	96,6	111,4	94,0	.	88,1	87,1
2010	96,2	96,0	97,3	112,2	86,0	.	112,9	89,8
2011	101,3	99,4	106,7	118,9	98,4	.	143,8	98,7
2012	103,0	100,5	109,9	111,9	108,5	.	157,8	101,6
2013	102,9	100,8	109,0	108,5	109,3	.	147,0	102,5
2014	101,9	100,7	105,6	105,1	104,7	.	133,9	101,5
2015	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2016	98,4	99,7	94,1	97,4	88,3	83,4	83,2	99,5
2017	101,1	102,5	96,6	102,0	83,0	114,9	97,5	97,0
2018	103,7	104,3	101,9	108,6	86,2	139,9	119,1	98,1
2019	104,8	105,1	104,0	116,2	86,1	137,2	116,0	103,4
2020	103,8	105,1	99,8	117,1	77,5	94,5	78,2	104,4
		Veränderung 2019 gegenüber 2000 in %						
	31,8	22,2	64,6	61,6	77,5	.	68,1	37,1
		Durchschnittliche jährliche Veränderung 2000–2019 in %						
	1,5	1,1	2,7	2,6	3,1	.	2,8	1,7
		Veränderung 2020 gegenüber 2000 in %						
	30,6	22,2	57,9	62,9	59,8	.	13,3	38,5

1 Nettopreisindex (ohne Mehrwertsteuer). – 2 Ohne Erdgasförderung.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 28: Index der Verbraucherpreise und für ausgewählte Energieträger in Rheinland-Pfalz

Jahr	Verbraucherpreisindex	Strom, Gas u.a. Brennstoffe	davon					
			Strom	Gas ¹	Heizöl ¹	Feste Brennstoffe ²	Fernwärme u. A.	
2015 = 100								
1995	76,2	46,7	48,5	50,2	37,8	60,3	.	
1996	77,5	45,8	44,9	47,7	44,9	61,5	.	
1997	78,9	47,0	45,1	50,2	45,8	63,2	.	
1998	79,6	45,9	45,3	50,7	37,9	63,7	.	
1999	79,9	47,6	47,6	49,9	45,6	65,3	.	
2000	81,0	53,9	47,4	57,1	70,1	72,7	.	
2001	82,5	59,2	49,8	69,3	66,3	77,4	.	
2002	83,7	58,7	52,5	65,3	60,3	76,8	.	
2003	84,4	61,1	55,7	68,5	63,0	80,6	.	
2004	85,8	63,1	57,7	68,0	70,2	80,1	.	
2005	87,2	70,8	61,0	75,6	93,2	77,6	75,4	
2006	88,4	78,3	63,0	91,0	103,1	79,9	87,7	
2007	90,2	81,4	68,3	91,8	102,2	81,8	91,8	
2008	92,4	90,8	72,2	103,3	134,8	86,0	96,4	
2009	92,3	88,0	76,5	100,4	93,0	89,3	93,0	
2010	93,3	88,2	79,2	91,3	114,2	89,4	87,0	
2011	95,2	96,8	85,8	95,5	143,3	92,5	90,0	
2012	97,3	102,6	88,2	101,8	155,8	92,2	97,4	
2013	98,7	106,2	97,3	102,7	146,6	94,5	101,1	
2014	99,6	105,9	101,2	101,7	134,5	98,7	101,5	
2015	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
2016	100,3	96,2	100,7	98,5	80,6	96,5	97,2	
2017	101,7	97,0	100,9	97,1	89,3	98,4	94,1	
2018	103,4	99,5	101,1	95,5	106,2	102,2	95,3	
2019	104,7	101,6	104,1	96,1	108,5	107,6	98,7	
2020	105,3	100,5	109,8	97,8	86,2	103,6	97,3	
			Veränderung 2019 gegenüber 1995 in %					
	37,4	117,6	114,6	91,4	187,0	78,4	.	
			Durchschnittliche jährliche Veränderung 1995–2019 in %					
	1,3	3,3	3,2	2,7	4,5	2,4	.	
			Veränderung 2020 gegenüber 1995 in %					
	38,2	115,2	126,4	94,8	128,0	71,8	.	

1 Die Positionen „Gas“ und „Heizöl“ enthalten neben den Kosten der verbrauchten Brennstoffe und ihrer Lieferung auch Umlagen für den Betrieb einer zentralen Heizungsanlage einschließlich der Abgasanlage (z. B. Kosten für Wartung und Pflege der Anlage oder für die Messungen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz). Unter Heizöl versteht man im Verbraucherpreisindex leichtes Heizöl zum Betreiben einer Ölzentralheizung.
2 Kohle und andere feste Brennstoffe.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 29: Index der Verbraucherpreise für Kraftstoffe in Rheinland-Pfalz 1995 – 2020

Jahr	Kraft- und Schmierstoffe für Fahrzeuge insgesamt	darunter		
		Benzin ¹	Dieselmkraftstoff	Autogas
2015 = 100				
1995	55,7	56,9	49,3	.
1996	58,9	59,7	54,3	.
1997	60,3	61,3	54,7	.
1998	57,9	59,1	51,0	.
1999	61,8	62,9	55,3	.
2000	72,6	73,3	68,9	.
2001	73,4	73,8	70,5	.
2002	74,9	75,2	71,4	.
2003	78,2	78,6	75,5	.
2004	81,7	82,0	79,9	.
2005	88,3	88,2	91,1	.
2006	92,7	92,7	95,2	.
2007	96,7	96,5	99,4	.
2008	102,9	100,3	113,1	.
2009	91,8	91,6	92,2	.
2010	102,1	101,6	104,2	107,6
2011	114,0	111,8	121,0	126,2
2012	120,1	117,9	127,0	131,7
2013	115,9	114,1	121,6	126,1
2014	111,2	109,9	115,3	120,6
2015	100,0	100,0	100,0	100,0
2016	92,9	93,2	92,1	90,8
2017	98,7	98,4	99,6	94,8
2018	106,5	105,3	110,9	101,5
2019	104,0	102,7	108,4	101,4
2020	93,3	92,2	95,9	94,9
Veränderung 2019 gegenüber 1995 in %				
	86,7	80,5	119,9	.
Durchschnittliche jährliche Veränderung 1995–2019 in %				
	2,6	2,5	3,3	.
Veränderung 2020 gegenüber 1995 in %				
	67,5	62,0	94,5	.

1 Superbenzin und Superbenzin plus.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

4.3 Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

Anhang 30: Primärenergieverbrauch 1990-2019 nach Energieträgern

Energieträger	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Petajoule								
Kohle	51,1	17,4	7,1	5,5	6,3	6,4	5,7	5,8
Mineralöle und Mineralölprodukte	291,8	300,8	272,1	259,6	258,2	269,8	253,4	257,0
Erdgas	159,4	237,4	262,4	239,4	247,9	247,8	244,3	247,4
Erneuerbare Energieträger	5,1	12,2	61,8	78,9	80,4	83,6	84,9	88,2
Strom ¹	71,1	76,3	44,5	33,8	32,3	30,2	33,5	26,2
Sonstige Energieträger ²	.	4,2	21,9	18,7	18,9	19,9	19,0	18,6
Insgesamt	578,5	648,2	669,9	635,9	643,9	657,6	640,7	643,2
TWh								
Kohle	14,2	4,8	2,0	1,5	1,7	1,8	1,6	1,6
Mineralöle und Mineralölprodukte	81,0	83,5	75,6	72,1	71,7	74,9	70,4	71,4
Erdgas	44,3	65,9	72,9	66,5	68,9	68,8	67,9	68,7
Erneuerbare Energieträger	1,4	3,4	17,2	21,9	22,3	23,2	23,6	24,5
Strom ¹	19,8	21,2	12,4	9,4	9,0	8,4	9,3	7,3
Sonstige Energieträger ²	.	1,2	6,1	5,2	5,3	5,5	5,3	5,2
Insgesamt	160,7	180,1	186,1	176,6	178,9	182,7	178,0	178,7
Anteil am Primärenergieverbrauch in %								
Kohle	8,8	2,7	1,1	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9
Mineralöle und Mineralölprodukte	50,4	46,4	40,6	40,8	40,1	41,0	39,6	40,0
Erdgas	27,6	36,6	39,2	37,7	38,5	37,7	38,1	38,5
Erneuerbare Energieträger	0,9	1,9	9,2	12,4	12,5	12,7	13,2	13,7
Strom ¹	12,3	11,8	6,6	5,3	5,0	4,6	5,2	4,1
Sonstige Energieträger ²	.	0,7	3,3	2,9	2,9	3,0	3,0	2,9
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100,0
Veränderung in %								
Kohle	.	-65,9	-59,1	-22,8	14,4	1,5	-11,2	1,8
Mineralöle und Mineralölprodukte	.	3,1	-9,5	-4,6	-0,6	4,5	-6,1	1,4
Erdgas	.	48,9	10,5	-8,8	3,5	0,0	-1,4	1,3
Erneuerbare Energieträger	.	140,5	407,6	27,6	1,9	4,0	1,5	3,9
Strom ¹	.	7,2	-41,6	-24,0	-4,6	-6,6	10,9	-21,8
Sonstige Energieträger ²	.	.	418,0	-14,6	1,2	5,0	-4,4	-1,9
Insgesamt	.	12,1	3,3	-5,1	1,3	2,1	-2,6	0,4
Messzahl: 1990 = 100								
Kohle	100	34,1	13,9	10,8	12,3	12,5	11,1	11,3
Mineralöle und Mineralölprodukte	100	103,1	93,3	89,0	88,5	92,5	86,9	88,1
Erdgas	100	148,9	164,6	150,2	155,5	155,4	153,2	155,2
Erneuerbare Energieträger	100	240,5	1220,9	1557,9	1588,1	1651,9	1676,6	1742,1
Strom ¹	100	107,2	62,6	47,6	45,4	42,4	47,0	36,8
Sonstige Energieträger ²	.	.	.	.	.	.	.	.
Insgesamt	100	112,1	115,8	109,9	111,3	113,7	110,8	111,2

1 Stromaustauschsaldo aus Bezügen und Lieferungen.

2 Fernwärme, Abfälle (fossile Fraktion) und sonstige hergestellte Gase.

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2021)

Anhang 31: Struktur des Energieverbrauchs 1990 – 2019

Merkmal	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Rheinland-Pfalz								
TWh								
Primärenergieverbrauch	161	180	186	177	179	183	178	179
Verbrauch und Verluste im Energiesektor, statistische Differenzen	14	12	14	14	13	14	10	10
Nichtenergetischer Verbrauch	29	30	36	35	35	37	33	32
Endenergieverbrauch	118	138	136	128	131	132	135	136
Anteil an Deutschland in %								
Primärenergieverbrauch	3,9	4,5	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0
Verbrauch und Verluste im Energiesektor, statistische Differenzen	1,1	1,0	1,3	1,4	1,3	1,5	1,1	1,3
Nichtenergetischer Verbrauch	10,8	10,2	12,7	13,0	13,0	13,3	14,7	15,0
Endenergieverbrauch	4,5	5,4	5,2	5,2	5,2	5,2	5,4	5,4
Anteil am Primärenergieverbrauch in %								
Verbrauch und Verluste im Energiesektor, statistische Differenzen	8,6	6,6	7,5	7,7	7,2	7,6	5,7	5,7
Nichtenergetischer Verbrauch	17,8	16,8	19,5	19,7	19,4	20,1	18,5	18,0
Endenergieverbrauch	73,6	76,7	72,9	72,6	73,4	72,3	75,8	76,2
Deutschland								
TWh								
Primärenergieverbrauch	4 140	4 000	3 949	3 684	3 747	3 756	3 647	3 550
Verbrauch und Verluste im Energiesektor, statistische Differenzen	1 243	1 138	1 076	945	960	924	933	819
Nichtenergetischer Verbrauch	266	297	287	267	268	275	224	215
Endenergieverbrauch	2 631	2 565	2 586	2 472	2 520	2 558	2 490	2 515
Anteil am Primärenergieverbrauch in %								
Verbrauch und Verluste im Energiesektor, statistische Differenzen	30,0	28,5	27,2	25,7	25,6	24,6	25,6	23,1
Nichtenergetischer Verbrauch	6,4	7,4	7,3	7,2	7,1	7,3	6,1	6,1
Endenergieverbrauch	63,5	64,1	65,5	67,1	67,2	68,1	68,3	70,9

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2021), Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (Berechnungsstand: September 2020)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

4.4 Entwicklung des Endenergieverbrauchs

Anhang 32: Endenergieverbrauch 1990 – 2019 nach Verbrauchergruppen

Energieträger	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Petajoule								
Industrie	134,8	172,3	154,0	150,6	153,2	151,7	155,5	153,5
Verkehr	103,8	134,0	132,7	130,4	132,7	134,7	129,9	129,8
Haushalte und Kleinverbraucher ¹	187,0	190,6	202,0	180,9	186,4	189,1	200,1	207,0
Insgesamt	425,6	496,9	488,7	461,9	472,4	475,4	485,6	490,2
TWh								
Industrie	37,4	47,9	42,8	41,8	42,6	42,1	43,2	42,6
Verkehr	28,8	37,2	36,9	36,2	36,9	37,4	36,1	36,0
Haushalte und Kleinverbraucher ¹	51,9	52,9	56,1	50,3	51,8	52,5	55,6	57,5
Insgesamt	118,2	138,0	135,7	128,3	131,2	132,1	134,9	136,2
Anteil am Endenergieverbrauch in %								
Industrie	31,7	34,7	31,5	32,6	32,4	31,9	32,0	31,3
Verkehr	24,4	27,0	27,2	28,2	28,1	28,3	26,8	26,5
Haushalte und Kleinverbraucher ¹	43,9	38,4	41,3	39,2	39,5	39,8	41,2	42,2
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Veränderung in %								
Industrie	.	27,8	-10,6	-2,2	1,8	-1,0	2,5	-1,3
Verkehr	.	29,1	-1,0	-1,7	1,8	1,5	-3,5	-0,1
Haushalte und Kleinverbraucher ¹	.	2,0	6,0	-10,4	3,1	1,4	5,8	3,4
Insgesamt	.	16,8	-1,7	-5,5	2,3	0,6	2,1	1,0
Messzahl: 1990 = 100								
Industrie	100	127,8	114,3	111,7	113,7	112,5	115,4	113,9
Verkehr	100	129,1	127,8	125,6	127,8	129,7	125,1	125,0
Haushalte und Kleinverbraucher ¹	100	102,0	108,0	96,8	99,7	101,2	107,1	110,7
Insgesamt	100	116,8	114,8	108,5	111,0	111,7	114,1	115,2

1 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2021)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 33: Endenergieverbrauch 1990 – 2019 nach Energieträgern

Energieträger	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Petajoule								
Kohle	27,9	11,3	4,9	3,2	3,3	3,4	3,4	3,3
Mineralöle und Mineralölprodukte	203,4	215,0	179,9	171,8	174,3	175,7	172,2	180,5
Erdgas	97,4	152,6	145,8	133,0	142,3	142,0	151,3	148,1
Erneuerbare Energieträger	1,8	3,3	30,5	30,8	31,1	31,1	35,1	35,6
Strom	91,5	101,1	101,4	101,7	99,8	100,9	100,7	98,6
Fernw ärme	3,6	13,6	15,9	10,8	11,0	11,2	12,6	13,9
Sonstige Energieträger ¹	.	.	10,2	10,7	10,7	11,2	10,4	10,2
Insgesamt	425,6	496,9	488,7	461,9	472,4	475,4	485,6	490,2
TWh								
Kohle	7,7	3,1	1,4	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Mineralöle und Mineralölprodukte	56,5	59,7	50,0	47,7	48,4	48,8	47,8	50,1
Erdgas	27,0	42,4	40,5	36,9	39,5	39,5	42,0	41,1
Erneuerbare Energieträger	0,5	0,9	8,5	8,6	8,6	8,6	9,8	9,9
Strom	25,4	28,1	28,2	28,2	27,7	28,0	28,0	27,4
Fernw ärme	1,0	3,8	4,4	3,0	3,1	3,1	3,5	3,9
Sonstige Energieträger ¹	.	.	2,8	3,0	3,0	3,1	2,9	2,8
Insgesamt	118,2	138,0	135,7	128,3	131,2	132,1	134,9	136,2
Anteil am Endenergieverbrauch in %								
Kohle	6,6	2,3	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Mineralöle und Mineralölprodukte	47,8	43,3	36,8	37,2	36,9	37,0	35,5	36,8
Erdgas	22,9	30,7	29,8	28,8	30,1	29,9	31,2	30,2
Erneuerbare Energieträger	0,4	0,7	6,2	6,7	6,6	6,5	7,2	7,3
Strom	21,5	20,3	20,7	22,0	21,1	21,2	20,7	20,1
Fernw ärme	0,8	2,7	3,2	2,3	2,3	2,4	2,6	2,8
Sonstige Energieträger ¹	.	.	2,1	2,3	2,3	2,4	2,1	2,1
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Veränderung in %								
Kohle	.	-59,6	-56,1	-34,7	1,4	3,4	-0,8	-2,3
Mineralöle und Mineralölprodukte	.	5,7	-16,3	-4,5	1,5	0,8	-2,0	4,8
Erdgas	.	56,8	-4,5	-8,8	7,0	-0,2	6,5	-2,1
Erneuerbare Energieträger	.	86,4	816,2	0,9	0,9	0,0	13,0	1,4
Strom	.	10,4	0,3	0,3	-1,9	1,1	-0,2	-2,1
Fernw ärme	.	278,7	16,9	-31,8	1,7	1,7	12,3	10,5
Sonstige Energieträger ¹	.	.	.	4,6	0,1	4,5	-7,1	-1,8
Insgesamt	.	16,8	-1,7	-5,5	2,3	0,6	2,1	1,0
Messzahl: 1990 = 100								
Kohle	100	40,4	17,7	11,6	11,7	12,1	12,1	11,8
Mineralöle und Mineralölprodukte	100	105,7	88,4	84,4	85,7	86,4	84,7	88,8
Erdgas	100	156,8	149,8	136,6	146,1	145,9	155,4	152,1
Erneuerbare Energieträger	100	186,4	1707,4	1722,8	1738,6	1738,7	1964,2	1992,2
Strom	100	110,4	110,8	111,1	109,0	110,2	110,0	107,7
Fernw ärme	100	378,7	442,8	301,8	307,0	312,2	350,5	387,3
Sonstige Energieträger ¹	.	.	.	.	.	.	.	.
Insgesamt	100	116,8	114,8	108,5	111,0	111,7	114,1	115,2

¹ Abfälle (fossile Fraktion) und sonstige hergestellte Gase.

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2021)

4.5 Entwicklung des Energieverbrauchs im Bereich der Mobilität

Anhang 34: Endenergieverbrauch 1990 – 2019 im Verkehrssektor

Verbrauchergruppe	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Petajoule								
Schienerverkehr	3,2	1,8	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4
Straßenverkehr	98,5	129,2	121,4	123,0	125,3	126,9	120,5	121,7
Luftverkehr	0,5	2,3	8,3	4,4	4,5	4,8	6,5	5,0
Binnenschifffahrt	1,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
Verkehr insgesamt	103,8	134,0	132,7	130,4	132,7	134,7	129,9	129,8
TWh								
Schienerverkehr	0,9	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
Straßenverkehr	27,4	35,9	33,7	34,2	34,8	35,2	33,5	33,8
Luftverkehr	0,1	0,6	2,3	1,2	1,2	1,3	1,8	1,4
Binnenschifffahrt	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Verkehr insgesamt	28,8	37,2	36,9	36,2	36,9	37,4	36,1	36,0
Anteil am Endenergieverbrauch im Verkehrssektor %								
Schienerverkehr	3,1	1,3	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9
Straßenverkehr	94,9	96,4	91,5	94,3	94,4	94,2	92,7	93,8
Luftverkehr	0,5	1,7	6,3	3,3	3,4	3,6	5,0	3,8
Binnenschifffahrt	1,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,5
Verkehr insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Veränderung in %								
Schienerverkehr	.	-44,7	28,1	1,7	3,2	0,0	-0,9	1,9
Straßenverkehr	.	31,2	-6,0	1,3	1,8	1,3	-5,0	1,0
Luftverkehr	.	388,7	260,1	-47,5	2,8	6,6	35,0	-23,1
Binnenschifffahrt	.	-55,9	-8,1	9,5	-17,7	7,1	-6,7	5,7
Verkehr insgesamt	.	29,1	-1,0	-1,7	1,8	1,5	-3,5	-0,1
Messzahl: 1990 = 100								
Schienerverkehr	100	55,3	70,8	72,0	74,3	74,3	73,6	75,1
Straßenverkehr	100	131,2	123,3	124,9	127,2	128,8	122,3	123,6
Luftverkehr	100	488,7	1759,9	923,3	949,1	1012,1	1366,1	1050,9
Binnenschifffahrt	100	44,1	40,5	44,4	36,5	39,1	36,5	38,6
Verkehr insgesamt	100	129,1	127,8	125,6	127,8	129,7	125,1	125,0

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2021)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 35: Endenergieverbrauch 1990 – 2019 nach Verbrauchergruppen und Energieträgern

Energieträger	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
---------------	------	------	------	------	------	------	------	------

Verkehr

TWh

Ottokraftstoff	17,7	20,1	14,9	13,0	12,9	13,0	12,4	12,6
Dieseltkraftstoff	10,4	16,3	17,1	19,7	20,4	20,8	19,5	19,8
Flugturbinenkraftstoff	0,1	0,6	2,3	1,2	1,2	1,3	1,8	1,4
Biokraftstoffe	.	.	1,9	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7
Strom ¹	0,5	0,2	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
Sonstige ²	0,0	.	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Insgesamt	28,8	37,2	36,9	36,2	36,9	37,4	36,1	36,0

Anteil am Endenergieverbrauch der Verbrauchergruppe in %

Ottokraftstoff	61,5	53,9	40,4	35,8	35,1	34,7	34,5	34,9
Dieseltkraftstoff	36,2	43,9	46,3	54,5	55,3	55,6	54,1	54,8
Flugturbinenkraftstoff	0,5	1,7	6,2	3,3	3,4	3,5	5,0	3,8
Biokraftstoffe	.	.	5,1	4,4	4,4	4,4	4,7	4,7
Strom ¹	1,8	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Sonstige ²	0,0	.	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100

1 Bis 2015: nur Schienenverkehr.

2 Flüssiggas, Erdgas.

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2021)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

4.6 Entwicklung der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs

Anhang 36: Strombilanz 1990 – 2019

Merkmal	Einheit	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Bruttostromerzeugung	TWh	7,469	8,538	16,590	19,783	19,706	20,676	20,023	21,441
Erneuerbare Energieträger	TWh	0,873	1,430	4,435	9,038	9,023	9,945	10,244	10,990
Anteil	%	11,7	16,7	26,7	45,7	45,8	48,1	51,2	51,3
darunter aus									
Windkraft ¹	TWh	.	0,192	1,784	5,132	4,907	5,923	6,192	6,865
Anteil	%	.	2,3	10,8	25,9	24,9	28,6	30,9	32,0
Fotovoltaik	TWh	.	.	0,603	1,760	1,725	1,859	2,028	2,055
Anteil	%	.	.	3,6	8,9	8,8	9,0	10,1	9,6
Biomasse	TWh	.	.	0,836	1,135	1,238	1,240	1,160	1,097
Anteil	%	.	.	5,0	5,7	6,3	6,0	5,8	5,1
Wasserkraft	TWh	0,873	1,237	1,114	0,922	1,063	0,832	0,821	0,915
Anteil	%	11,7	14,5	6,7	4,7	5,4	4,0	4,1	4,3
Nicht erneuerbare Energieträger	TWh	6,596	7,108	12,155	10,744	10,683	10,730	9,779	10,451
Anteil	%	88,3	83,3	73,3	54,3	54,2	51,9	48,8	48,7
darunter aus									
Erdgas	TWh	.	.	11,243	9,607	9,488	9,835	8,911	9,549
Anteil	%	.	.	67,8	48,6	48,1	47,6	44,5	44,5
Abfall (fossiler Anteil)	TWh	.	.	0,267	0,305	0,281	0,310	0,323	0,333
Anteil	%	.	.	1,6	1,5	1,4	1,5	1,6	1,6
Strom austauschsaldo	TWh	19,759	21,181	12,369	9,401	8,968	8,380	9,292	7,269
Anteil Saldo am Bruttostromverbrauch	%	72,6	71,3	42,7	32,2	31,3	28,8	31,7	25,3
Bruttostromverbrauch	TWh	27,228	29,718	28,959	29,184	28,674	29,056	29,315	28,710
Anteil erneuerbarer Energieträger (heimische Erzeugung)	%	3,2	4,8	15,3	31,0	31,5	34,2	34,9	38,3
Stromverbrauch im Umwandlungsbereich ²	TWh	1,799	1,638	0,793	0,943	0,957	1,032	1,347	1,326
Endenergieverbrauch	TWh	25,429	28,080	28,165	28,241	27,717	28,023	27,969	27,384
davon									
Industrie	TWh	13,393	14,190	15,357	14,901	14,956	15,308	14,883	14,679
Anteil am Endenergieverbrauch	%	52,7	50,5	54,5	52,8	54,0	54,6	53,2	53,6
Verkehr	TWh	0,529	0,206	0,448	0,434	0,458	0,436	0,433	0,420
Anteil am Endenergieverbrauch	%	2,1	0,7	1,6	1,5	1,7	1,6	1,5	1,5
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, übrige	TWh	11,507	13,684	12,360	12,907	12,303	12,279	12,652	12,285
Anteil am Endenergieverbrauch	%	45,3	48,7	43,9	45,7	44,4	43,8	45,2	44,9

1 2000 einschließlich andere erneuerbare Energieträger; seit 2003 einschließlich der Berücksichtigung des für den Eigenverbrauch erzeugten Stroms.

2 Enschl. Leitungsverluste, statistische Differenzen.

Quellen: Strombilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2021)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

4.7 Entwicklung der Wärmeerzeugung und des Wärmeverbrauchs

Anhang 37: Bruttoendenergieverbrauch nach Verbrauchssektoren

Merkmal	Einheit	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Bruttoendenergieverbrauch								
Wärme und Kälte	Mrd. kWh	76,4	81,6	74,8	77,5	77,6	81,9	83,5
Verkehr	Mrd. kWh	35,6	34,3	34,8	35,4	35,9	34,1	34,5
Strom	Mrd. kWh	19,4	18,4	18,6	18,1	18,5	18,5	18,1
Anteil Erneuerbarer Energien								
Rheinland-Pfalz								
Insgesamt	%	5,5	10,0	14,3	14,1	14,7	15,4	16,0
Wärme und Kälte	%	5,0	9,1	10,5	10,4	10,3	11,1	11,1
Deutschland ¹								
Insgesamt	%	7,2	11,7	14,9	14,9	15,5	16,7	17,4
Wärme und Kälte	%	7,7	12,1	13,4	13,0	13,4	14,1	14,6

1 Angaben zum Bruttoendenergieverbrauch entsprechend der „Erneuerbare-Energien-Richtlinie“ der EU.

Quellen: Berechnungen auf Basis einer Methode des Länderarbeitskreis Energiebilanzen

(Berechnungsstand: Juli 2021), Eurostat

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

5.0 Entwicklung der energiebedingten Emissionen von SO₂ und NO_x

Quellenangaben für die Emissionsfaktoren

- HBEFA-Online-Datenbank unter: <https://www.hbefa.net/d/> [Stand: 20.05.2021]
- INFRAS 2019: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) 4.1, Online unter: <https://www.hbefa.net/d/> [Stand: 20.05.2021]
- Ökopol GmbH/Umweltbundesamt (UBA) 2016: Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher, Hamburg 2016.
- Umweltbundesamt (UBA) 2008: Texte 44/2008, Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung, Dessau-Roßlau 2019.
- Umweltbundesamt (UBA) 2019: Texte 140/2019, Aktualisierung der Emissionsfaktoren für Großfeuerungsanlagen, Dessau-Roßlau 2019.
- Umweltbundesamt (UBA) 2020: Spezifische Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix, online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/spezifische-emissionsfaktoren-fuer-den-deutschen> [Stand: 20.05.2021]
- Umweltbundesamt (UBA) 2020: Texte 116/2020: Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOMM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990-2018), Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung; Berichtsteil „TREMOMM“, Dessau-Roßlau 2020; online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-29_texte_116-2020_tremom_2019_0.pdf [Stand: 21.05.2021]
- Umweltbundesamt (UBA) 2021: German Informative Inventory Report 2021, Online unter: <https://thg.thuenen.de/iir-de/> [Stand: 20.5.2021]

Anhang 38: SO₂-Emissionen (Quellenbilanz) 2005 – 2019 nach Energieträgern

Jahr	Insgesamt	Kohle	Mineralöle und Mineralöl- produkte	Erdgas	Biomasse ¹	Abfälle (nicht biogen)	Sonstige Energieträger
------	-----------	-------	---	--------	-----------------------	---------------------------	---------------------------

Tonnen

2005	5 499	829	4 245	56	360	8	1
2018	2 588	696	996	21	814	43	18
2019	2 486	677	935	21	792	43	17

Anteil in %

2005	100	15,1	77,2	1,0	6,5	0,2	0,0
2018	100	26,9	38,5	0,8	31,5	1,6	0,7
2019	100	27,2	37,6	0,8	31,9	1,7	0,7

Veränderung in %

2005	.	.	.	.	.	.	.
2018	-52,9	-16,1	-76,5	-63,0	126,4	407,5	2 090,4
2019	-4,0	-2,7	-6,1	0,4	-2,7	0,8	-8,6

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100	100	100	100
2018	47,1	83,9	23,5	37,0	226,4	507,5	2 190,4
2019	45,2	81,7	22,0	37,2	220,3	511,4	2 001,0

1 enthält auch Klärgas und Deponiegas.

Berechnungsstand: Juli 2021.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 39: SO₂-Emissionen (Quellenbilanz) 2005–2019 nach Verbrauchergruppen

Jahr	Insgesamt	Umwandlung	Industrie	Verkehr	Haushalte und Kleinverbraucher ¹
------	-----------	------------	-----------	---------	---

Tonnen

2005	5 499	434	854	215	3 997
2018	2 588	788	481	172	1 148
2019	2 486	770	474	143	1 098

Anteil in %

2005	100	7,9	15,5	3,9	72,7
2018	100	30,4	18,6	6,7	44,3
2019	100	31,0	19,1	5,8	44,2

Veränderung in %

2005	.	.	.	.	.
2018	-52,9	81,7	-43,7	-19,8	-71,3
2019	-4,0	-2,2	-1,3	-17,0	-4,3

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100	100
2018	47,1	181,7	56,3	80,2	28,7
2019	45,2	177,7	55,5	66,6	27,5

¹ Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Berechnungsstand: Juli 2021.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 40: SO₂-Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 – 2019 nach Energieträgern

Jahr	Insgesamt	Kohle	Mineralöle und Mineralölprodukte	Erdgas	Biomasse ¹	Strom	Fernwärme	Sonstige Energieträger
------	-----------	-------	----------------------------------	--------	-----------------------	-------	-----------	------------------------

Tonnen

2005	22 274	750	4 156	47	111	17 043	161	6
2018	8 533	612	934	15	205	6 565	167	34
2019	8 300	578	881	15	208	6 428	157	33

Anteil in %

2005	100	3,4	18,7	0,2	0,5	76,5	0,7	0,0
2018	100	7,2	10,9	0,2	2,4	76,9	2,0	0,4
2019	100	7,0	10,6	0,2	2,5	77,4	1,9	0,4

Veränderung in %

2005	.	.	.	.	.	.	.	.
2018	-61,7	-18,4	-77,5	-67,2	85,1	-61,5	4,1	443,0
2019	-2,7	-5,6	-5,7	-2,2	1,3	-2,1	-6,3	-2,0

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100	100	100	100	100
2018	38,3	81,6	22,5	32,8	185,1	38,5	104,1	543,0
2019	37,3	77,0	21,2	32,1	187,6	37,7	97,6	532,2

1 enthält auch Klärgas und Deponiegas.

Berechnungsstand: Juli 2021.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 41: SO₂-Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 – 2019 nach Verbrauchergruppen

Jahr	Insgesamt	Industrie	Verkehr	Haushalte und Kleinverbraucher ¹
------	-----------	-----------	---------	---

Tonnen

2005	22 274	9 991	488	11 795
2018	8 533	4 229	267	4 036
2019	8 300	4 152	234	3 915

Anteil in %

2005	100	44,9	2,2	53,0
2018	100	49,6	3,1	47,3
2019	100	50,0	2,8	47,2

Veränderung in %

2005	.	.	.	.
2018	-61,7	-57,7	-45,2	-65,8
2019	-2,7	-1,8	-12,5	-3,0

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100
2018	38,3	42,3	54,8	34,2
2019	37,3	41,6	47,9	33,2

1 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Berechnungsstand: Juli 2021.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 42: NOx-Emissionen (Quellenbilanz) 2005 – 2019 nach Energieträgern

Jahr	Insgesamt	Kohle	Mineralöle und Mineralöl- produkte	Erdgas	Biomasse ¹	Abfälle (nicht biogen)	Sonstige Energie- träger
------	-----------	-------	---	--------	-----------------------	---------------------------	--------------------------------

Tonnen

2005	65 785	439	52 944	8 978	3 275	129	20
2018	41 790	423	27 835	6 823	5 659	654	396
2019	39 744	437	25 893	6 882	5 511	659	361

Anteil in %

2005	100	0,7	80,5	13,6	5,0	0,2	0,0
2018	100	1,0	66,6	16,3	13,5	1,6	0,9
2019	100	1,1	65,2	17,3	13,9	1,7	0,9

Veränderung in %

2005	.	.	.	.	.	.	.
2018	-36,5	-3,6	-47,4	-24,0	72,8	407,5	1 910,5
2019	-4,9	3,2	-7,0	0,9	-2,6	0,8	-8,6

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100	100	100	100
2018	63,5	96,4	52,6	76,0	172,8	507,5	2 010,5
2019	60,4	99,6	48,9	76,7	168,3	511,4	1 836,6

1 enthält auch Klärgas und Deponiegas.

Berechnungsstand: Juli 2021.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 43: NOx-Emissionen (Quellenbilanz) 2005 – 2019 nach Verbrauchergruppen

Jahr	Insgesamt	Umwandlung	Industrie	Verkehr	Haushalte und Kleinverbraucher ¹
------	-----------	------------	-----------	---------	---

Tonnen

2005	65 785	5 030	4 160	51 139	5 456
2018	41 790	4 891	4 565	27 671	4 664
2019	39 744	4 968	4 504	25 503	4 769

Anteil in %

2005	100	7,6	6,3	77,7	8,3
2018	100	11,7	10,9	66,2	11,2
2019	100	12,5	11,3	64,2	12,0

Veränderung in %

2005	.	.	.	.	.
2018	-36,5	-2,8	9,7	-45,9	-14,5
2019	-4,9	1,6	-1,3	-7,8	2,3

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100	100
2018	63,5	97,2	109,7	54,1	85,5
2019	60,4	98,8	108,3	49,9	87,4

1 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Berechnungsstand: Juli 2021.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 44: NOx-Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 – 2019 nach Energieträgern

Jahr	Insgesamt	Kohle	Mineralöle und Mineralöl- produkte	Erdgas	Biomasse ¹	Strom	Fernwärme	Sonstige Energie- träger
Tonnen								
2005	76 573	345	52 868	5 060	2 401	14 677	1 127	95
2018	49 806	326	27 740	4 775	3 518	11 957	899	591
2019	47 371	319	25 809	4 680	3 437	11 708	841	577
Anteil in %								
2005	100	0,5	69,0	6,6	3,1	19,2	1,5	0,1
2018	100	0,7	55,7	9,6	7,1	24,0	1,8	1,2
2019	100	0,7	54,5	9,9	7,3	24,7	1,8	1,2
Veränderung in %								
2005	.	.	.	.	.	.	.	.
2018	-35,0	-5,6	-47,5	-5,6	46,5	-18,5	-20,3	518,8
2019	-4,9	-2,0	-7,0	-2,0	-2,3	-2,1	-6,4	-2,4
Messzahl: 2005 = 100								
2005	100	100	100	100	100	100	100	100
2018	65,0	94,4	52,5	94,4	146,5	81,5	79,7	618,8
2019	61,9	92,5	48,8	92,5	143,2	79,8	74,6	603,8

1 enthält auch Klärgas und Deponiegas.

Berechnungsstand: Juli 2021.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 45: NOx-Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 – 2019 nach Verbrauchergruppen

Jahr	Insgesamt	Industrie	Verkehr	Haushalte und Kleinverbraucher ¹
------	-----------	-----------	---------	---

Tonnen

2005	76 573	12 135	51 375	13 064
2018	49 806	11 844	27 845	10 117
2019	47 371	11 573	25 669	10 128

Anteil in %

2005	100	15,8	67,1	17,1
2018	100	23,8	55,9	20,3
2019	100	24,4	54,2	21,4

Veränderung in %

2005	.	.	.	.
2018	-35,0	-2,4	-45,8	-22,6
2019	-4,9	-2,3	-7,8	0,1

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100
2018	65,0	97,6	54,2	77,4
2019	61,9	95,4	50,0	77,5

¹ Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Berechnungsstand: Juli 2021.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
KLIMASCHUTZ, UMWELT,
ENERGIE UND MOBILITÄT

Kaiser-Friedrich-Str. 1
55116 Mainz

poststelle@mkuem.rlp.de
www.mkuem.rlp.de