

# 14. ENERGIEBERICHT RHEINLAND-PFALZ

**A N H A N G**

**zum**

**Bericht**

## Übersicht der Kapitel des Hauptberichtes mit Anhängen oder ergänzenden Informationen:

<b>3.1 Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und regenerative Eigenstromversorgung</b> .....	<b>5</b>
Anhang 1: Windenergieanlagen im Wald.....	5
Anhang 2: Energieholzverkauf Landesforsten Rheinland-Pfalz.....	5
<b>3.6 Energieforschung und Wissenstransfer (Schule, Forschung, Wissenschaft)</b> .....	<b>6</b>
<b>3.7 Das Land als Vorbild</b> .....	<b>94</b>
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
<b>4. Entwicklung von Energieerzeugung und –verbrauch in Rheinland-Pfalz</b> .....	<b>100</b>
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
<b>4.1. Rahmenbedingungen und Bestimmungsfaktoren der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs.....</b>	<b>122</b>
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
<b>4.2. Entwicklung der Energiepreise.....</b>	<b>125</b>
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
<b>4.3. Entwicklung des Primärenergieverbrauchs.....</b>	<b>128</b>
Anhang 30: Primärenergieverbrauch 1990-2019 nach Energieträgern.....	128
Anhang 31: Struktur des Energieverbrauchs 1990 – 2019.....	129
<b>4.4. Entwicklung des Endenergieverbrauchs.....</b>	<b>130</b>
Anhang 32: Endenergieverbrauch 1990 – 2019 nach Verbrauchergruppen.....	130
Anhang 33: Endenergieverbrauch 1990 – 2019 nach Energieträgern.....	131
<b>4.5. Entwicklung des Energieverbrauchs im Bereich der Mobilität.....</b>	<b>132</b>
Anhang 34: Endenergieverbrauch 1990 – 2019 im Verkehrssektor.....	132
Anhang 35: Endenergieverbrauch 1990 – 2019 nach Verbrauchergruppen und Energieträgern.....	133

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

### 3.1 Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und regenerative Eigenstromversorgung

#### Anhang 1: Windenergieanlagen im Wald<sup>1</sup>

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 %

<sup>1</sup> 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.

<b>Studienfach</b>	<b>Abschluss</b>	<b>Hochschulname</b>	<b>Studienort</b>	<b>Studientyp</b>
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

<b>Studienfach</b>	<b>Abschluss</b>	<b>Hochschulname</b>	<b>Studienort</b>	<b>Studientyp</b>
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 CO<sub>2</sub>-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 Elysson-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 Störungzonen 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 Calcizement in Oberrotliegendensandsteinen 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 Porenhal-Blockierung („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 (CO<sub>2</sub>-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](http://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 energierames, 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 CO<sub>2</sub> 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/m<sup>3</sup> 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 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):

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



<b>Wirtschaftsingenieurwesen M.Sc.</b>	u.a. Modul „Anlagentechnik“
<b>Maschinenbau, M.Eng.</b>	Aufbaustudiengang zu den Bachelorstudiengängen
<b>Systemtechnik, M.Eng.</b>	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 Datensammlung, 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 Stromsparhinweise 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 NAMOSYM 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 CO<sub>2</sub> 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 recyceln. 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: <sup>[SEP]</sup>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](http://energie-bwl.de) (Deutsch) und [energy-business.net](http://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, CO<sub>2</sub> 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 <sup>13</sup>C-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 volatiler 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 werden 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 CO<sub>2</sub>-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](http://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 (FONA<sup>3</sup>)

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-Werks Gelände 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. Jahrhundert 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 des Simulationsmodells sichert die Erweiterbarkeit und schafft Schnittstellen für die Verknüpfung mit weiteren Projekten. Eine laufende Erprobung von Maßnahmen und Prognosen im Simulator ermöglicht die Identifikation von Potenzialen und Risiken. Schließlich führt 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 m<sup>3</sup>/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 CO<sub>2</sub>e-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 Treibhausgas erzeugung 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 Trinkwasserzischenspeicher. 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 präzidierbare 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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, CO<sub>2</sub> – 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 CO<sub>2</sub>-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-, CO<sub>2</sub>- 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 Wärmeübertragungsoberflächen 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	Polizeiautobahnstation	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	Polizeiautobahnstation Ruchheim	LUD-Ruchheim	2016	40	Pellets

**4.663**

## Anhang 4: Solarthermieranlagen in LBB-Liegenschaften (inkl. Hochschulen)

Nr.	Liegenschaft	Ort	Inbetriebnahme	Kollektorfläche m <sup>2</sup>	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 <sub>peak</sub>	Installierte Modulfläche m <sup>2</sup>
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
<b>Summe</b>				<b>2.112,02</b>	<b>17.967,3</b>



## 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 <sub>peak</sub>	Installierte Modulfläche m <sup>2</sup>
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)

	<b>WE-Text</b>	<b>Leistung elektr. (kW)</b>	<b>Wärmeleistung (kW)</b>	<b>Baujahr</b>	<b>Bezeichnung</b>
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
		<b>1.891,5</b>	<b>3.165,5</b>		

### 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
	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	
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 Heizen 2 x 50 kW aktiv Kühlen
6	JVA Wittlich Wirtschaftsgebäude	Wittlich	2013	3 x 130 m 17 x 110m	2 x 21 kW Tiefkühl, 3 x 96 kW Kühlraum, 2 x 108 kW Wärme/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 festgeschrieben<sup>2</sup> 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.<sup>3</sup>

### 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-

---

<sup>2</sup> Siehe Energiestatistikgesetz (EnStatG) vom 6. März 2017.

<sup>3</sup> 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)	Roßbenzin	Ölkraftstoffe	Dieselmkraftstoffe	Flugturbinenkraftstoff
<b>Berechnungsstand: Juni 2021</b>			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 Kälteanlagen (ohne KWK) <sup>1</sup>	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	26	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und Kälteanlagen (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 Kälteanlagen (ohne KWK) <sup>1</sup>	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 Umwandlungs- bilanz	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	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	20	11	-	84	-	-	-	0	-
	Schieneverkehr	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

<sup>1</sup> 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	Klärgas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht biogen	Andere		
leicht	schwer															1000 Tonnen	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	-	-	-	-	34 848	15
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 161	-	-	560	1 930	-	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
-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	617	31
-	-	-	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	-	818	48	-	-	9 563	47
0	-	-	-	-	122	-	-	-	-	-	0	125	8	-	-	913	48
2	-	-	-	0	65	-	-	-	-	2 310	0	225	24	-	-	3 466	49
2	-	-	-	0	16 44	-	-	-	-	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	-	1 062	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

		Zeile	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralölprodukte				
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ölkräftstoffe	Dieselskräftstoffe	Flugturbinenkräftstoff
<b>Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2018 in Terajoule</b>											
<b>Berechnungsstand: Juni 2021</b>											
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 KWK-Produktion (ohne KWK) <sup>1</sup>	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	753	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK-Produktion (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 KWK-Produktion (ohne KWK) <sup>1</sup>	23	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK-Produktion (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- bereichen	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	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	-
	Schienerverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	800	-
	Straßenverkehr	64	-	-	-	-	-	-	44 789	68 959	-
	Luftverkehr	65	-	-	-	-	-	-	26	-	6 435
	Küsten- und Binnenschifffahrt	66	-	-	-	-	-	-	-	560	-
	Verkehr insgesamt	67	-	-	-	-	-	-	44 816	70 319	6 435
	Haushalte	68	25	-	686	-	-	-	357	-	-
	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

Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase	Erneuerbare Energieträger						Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile
Heizöl		Petrokoks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdölgas	Klar gas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht biogen	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
410	15	-	-	-	3 193	-	-	-	-	2 161	-	-	560	1930	-	8 638	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
4	-	-	613	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	19
430	15	-	613	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
-	-	-	613	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	617	32
-	-	-	613	-	-	-	-	-	-	-	-	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
-	-	-	1099	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	-	-	-	-	-	-	163	-	-	-	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	-	-	-	-	114	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	-	1 560	-	-	-	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	-	-	1 584	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	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ölkräftstoffe	Dieselskräftstoffe	Flugturbinenkräftstoff
<b>Berechnungsstand: Juni 2021</b>			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	-	-	-	1	-	-	-	-	-
	Primärenergieverbrauch	7	451	85	191	848	-	19 036	12 720	21 369	1788
Umwandlungsbilanz	Umwandlungseinsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK-Produktion (ohne KWK) <sup>1</sup>	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	209	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK-Produktion (nur Strom)	12	89	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-
		Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	-	-	-	103	-	-	-	-
		Hochöfen, Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-
	Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Umwandlungseinsatz insgesamt	20	298	-	-	103	-	-	-	-	-
	Umwandlungsausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK-Produktion (ohne KWK) <sup>1</sup>	23	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK-Produktion (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- bereichen	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	153	85	191	745	-	19 036	12 720	21 369	1788
	Nichtenergetischer Verbrauch	43	8	-	-	232	-	19 036	-	-	-
	Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Endenergieverbrauch	45	145	85	191	514	-	-	12 720	21 369	1788	
Endergieverbrauch nach Sektoren	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	-	514	-	-	-	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

<sup>1</sup> 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		Petrolkoks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiges Gas	Erdgas, Erdölgas	Klärgas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht brennbar	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
-	-	-	-	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	-	-	-	-	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	7	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		Mineralöle und Mineralölprodukte						
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ottoerzeugnisse	Dieselkraftstoffe	Flugturbinenkraftstoff		
												1000 Tonnen	
<b>Berechnungsstand: Juni 2021</b>													
Primär- energiebilanz		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	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		11	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		12	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		16	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	
		17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	20	50	-	-	18	-	-	-	-	-	-		
	Umwandlungsausstoß	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
29		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
30		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungs-	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	42	19	9	31	117	-	1447	1063	1825	15	-		
	43	0	-	-	32	-	1447	-	-	-	-		
	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Endenergieverbrauch nach Sektoren	45	19	9	31	86	-	-	1063	1825	15	-		
	46	-	-	-	2	-	-	-	-	0	-		
	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	49	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-		
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	52	15	-	-	7	-	-	-	-	-	-		
	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	54	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-		
	55	3	-	-	76	-	-	-	-	0	-		
	56	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-		
	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	62	18	9	-	86	-	-	-	-	0	-		
	63	-	-	-	-	-	-	-	-	21	-		
	64	-	-	-	-	-	-	-	1039	1633	-		
	65	-	-	-	-	-	-	-	1	0	15		
	66	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-		
	67	-	-	-	-	-	-	-	1040	1668	15		
	68	0	-	31	-	-	-	-	8	-	-		
	69	0	-	-	0	-	-	-	14	157	0		
	70	1	-	31	0	-	-	-	22	157	0		

<sup>1</sup> 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	Zelle	
Heizöl		Petrokoks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdölgas	Klärgas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht biogen	Andere			
leicht	schwer															1000 Tonnen		
					Mill. kWh *							Mill. kWh						
-	-	-	-	-	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	-	-	-	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	-	-	-	0	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	-	-	-	-	12 174	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												
<b>Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2019 in Terajoule</b>																							
<b>Berechnungsstand: Juni 2021</b>																							
Primär-energiebilanz		Terajoule																					
		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) <sup>1</sup>	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) <sup>1</sup>	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	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	45	509	265	617	1893	-	46 268	77 848	4 927												
Endenergieverbrauch nach Sektoren		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												



Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase	Erneuerbare Energieträger						Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile
Holzöl		Petrolöcke	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdölgas	Klärgas, 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	19
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 135	-	-	-	8 135	22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4 553	9 163	-	-	13 716	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27 482	-	-	-	27 482	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 293	-	-	-	3 293	26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33 718	280	-	-	33 998	27
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 456	-	-	6 456	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	621	31
-	-	-	613	-	-	-	-	-	-	-	-	77 188	15 898	-	-	93 699	32
-	-	-	613	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1303	-	-	-	1303	36
-	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-	21	-	-	-	46	37
6	-	-	-	-	358	-	-	-	-	-	-	38	-	-	-	402	38
-	-	-	-	-	679	-	-	-	-	-	-	664	280	-	-	1 623	39
6	-	-	-	-	1 061	-	-	-	-	-	-	2 026	280	-	-	3 373	40
-	-	-	-	-	83	63	-	-	-	-	-	2 747	1 239	-	-	4 132	41
46 149	733	1009	11542	4 542	187 268	30	-	-	154	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	-	-	154	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	1 742	-	-	-	-	8	0	194	32	-	-	3 886	57
55	-	-	-	2	252	-	-	-	-	1	1	595	3	-	-	909	58
144	-	-	-	2	1 240	-	-	-	-	111	1	1 661	75	-	-	3 260	59
86	-	-	-	6	1 091	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	-	-	-	129 754	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	-	-	154	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	Dieselmotortreibstoffe	Flugturbinentreibstoffe
<b>Berechnungsstand: Juni 2021</b>			Mill. kWh								
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
Umwandlungs- einsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) <sup>1</sup>	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	-	-	-	-	-
Umwandlungs- ausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) <sup>1</sup>	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- einsatz	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 nach Sektoren	Energieerzeugung 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

<sup>1</sup> 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		Petrolricks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdölgas	Klärgas, 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
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
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	22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1265	2 545	-	-	3 810	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 634	-	-	-	7 634	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	915	-	-	-	915	27
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9 366	78	-	-	9 444	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 793	-	-	1 793	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
-	-	-	170	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	172	32
-	-	-	170	-	-	-	-	-	-	-	-	21 441	4 416	-	-	26 028	33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	362	-	-	-	362	35
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	13	36
2	-	-	-	7	99	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	112	37
-	-	-	-	188	-	-	-	-	-	-	-	184	78	-	-	451	38
2	-	-	-	295	-	-	-	-	-	-	-	563	78	-	-	937	39
-	-	-	-	23	18	-	-	-	-	-	-	763	344	-	-	1 148	40
12 819	203	280	3 206	1262	52 019	8	-	-	421	8 545	920	27 384	3 146	1 930	900	167 679	41
-	-	280	3 187	0	10 872	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32 217	42
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	708	-	-	708	43
12 819	203	0	19	1262	41 146	8	-	-	421	8 545	920	27 384	3 855	1 930	900	136 771	44
12	-	-	-	1	66	-	-	-	-	0	-	104	0	-	-	200	45
77	-	-	-	5	1 707	3	-	-	-	14	-	792	12	-	-	2 611	46
4	-	-	-	0	119	-	-	-	-	-	0	121	2	-	-	247	47
23	-	-	-	1	54	-	-	-	-	660	0	224	7	-	-	968	48
16	-	-	-	4	1 789	-	-	-	-	60	-	1 188	1216	29	-	4 303	49
1	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	-	51	1	-	-	95	50
40	64	-	-	0	11 062	-	-	-	-	102	-	6 910	262	1 161	900	20 659	51
8	-	-	-	1	338	-	-	-	-	109	-	217	90	-	-	761	52
43	-	-	-	3	614	-	-	-	-	1	-	1 399	61	-	-	2 122	53
40	-	-	-	13	2 647	-	-	-	-	17	-	1 070	35	740	-	5 052	54
7	-	0	-	-	10 355	-	-	-	-	0	-	1 014	306	-	-	2 436	55
40	-	-	2	10	484	-	-	-	-	2	0	532	9	-	-	1 079	56
15	-	-	-	1	70	-	-	-	-	0	0	165	1	-	-	252	57
40	-	-	-	1	7	344	-	-	-	31	0	461	21	-	-	906	58
24	-	-	-	2	303	1	-	-	-	2	-	350	62	-	-	743	59
18	-	-	-	2	51	-	-	-	-	39	0	80	8	-	-	198	60
408	64	0	2	51	20 725	4	-	-	-	1 039	1	14 679	2 092	1 930	900	42 632	61
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	407	-	-	-	673	62
-	-	-	-	203	26	-	-	-	-	1 658	-	13	-	-	-	33 815	63
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 381	64
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	174	65
-	-	-	-	203	26	-	-	-	-	1 680	-	420	-	-	-	36 043	66
11 071	-	-	17	733	14 341	-	-	-	402	4 716	846	6 619	731	-	-	39 752	67
1340	139	-	-	275	6 055	4	-	-	18	1 111	74	5 667	1 032	-	-	17 744	68
12 411	139	-	17	1 008	20 395	4	-	-	421	5 827	920	12 285	1 763	-	-	57 496	69

## 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 erneuerbare Energieträger <sup>1</sup>	Erneuerbare Energien insgesamt	Anteil erneuerbare an allen Energieträgern		
				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	
<b>Primärenergieverbrauch</b>		<b>2 956</b>	<b>22 290</b>	<b>46 724</b>	<b>28 033</b>	<b>5 358</b>	<b>6 454</b>	<b>191</b>	<b>5 696</b>	<b>993</b>	<b>8 885</b>	<b>7 301</b>	<b>1 584</b>	<b>748</b>	<b>89</b>	<b>3 194</b>	<b>84 886</b>	<b>13,2</b>	
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-VERBRAUCH	<b>Endenergieverbrauch</b>	-	-	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 <sup>1</sup>	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
<b>Primärenergieverbrauch</b>		<b>3 293</b>	<b>24 713</b>	<b>46 913</b>	<b>28 051</b>	<b>5 475</b>	<b>6 482</b>	<b>195</b>	<b>5 561</b>	<b>1 149</b>	<b>8 914</b>	<b>7 398</b>	<b>1 516</b>	<b>761</b>	<b>85</b>	<b>3 523</b>	<b>88 203</b>	<b>13,7</b>
UMWANDLUNGSBILANZ	Wärmeerkraftwerke der allgemeinen Versorgung (ohne KWK)	-	-	4 590	2 560	1 920	-	24	85	1	-	-	-	-	-	-	4 590	24,0
	Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	-	-	3 886	983	1 404	-	162	1 330	7	-	-	-	14	-	-	3 900	23,7
	Industriewärmeerkraftwerke	-	-	1 535	664	102	-	-	57	712	-	-	-	-	-	-	1 535	3,7
	Wasserkraftwerke	3 293	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 293	100,0
	Windkraft-, Fotovoltaik- und andere Anlagen	-	24 713	3 847	-	-	-	-	3 839	7	7 398	7 398	-	654	85	210	36 907	100,0
	Heizwerke	-	-	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	<b>Endenergieverbrauch</b>	-	-	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

<sup>1</sup> Geothermie, Umwältwärme (Wärmepumpe).

**Anhang 21: Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeeinheiten zur rheinland-pfälzischen Energiebilanz 2018**

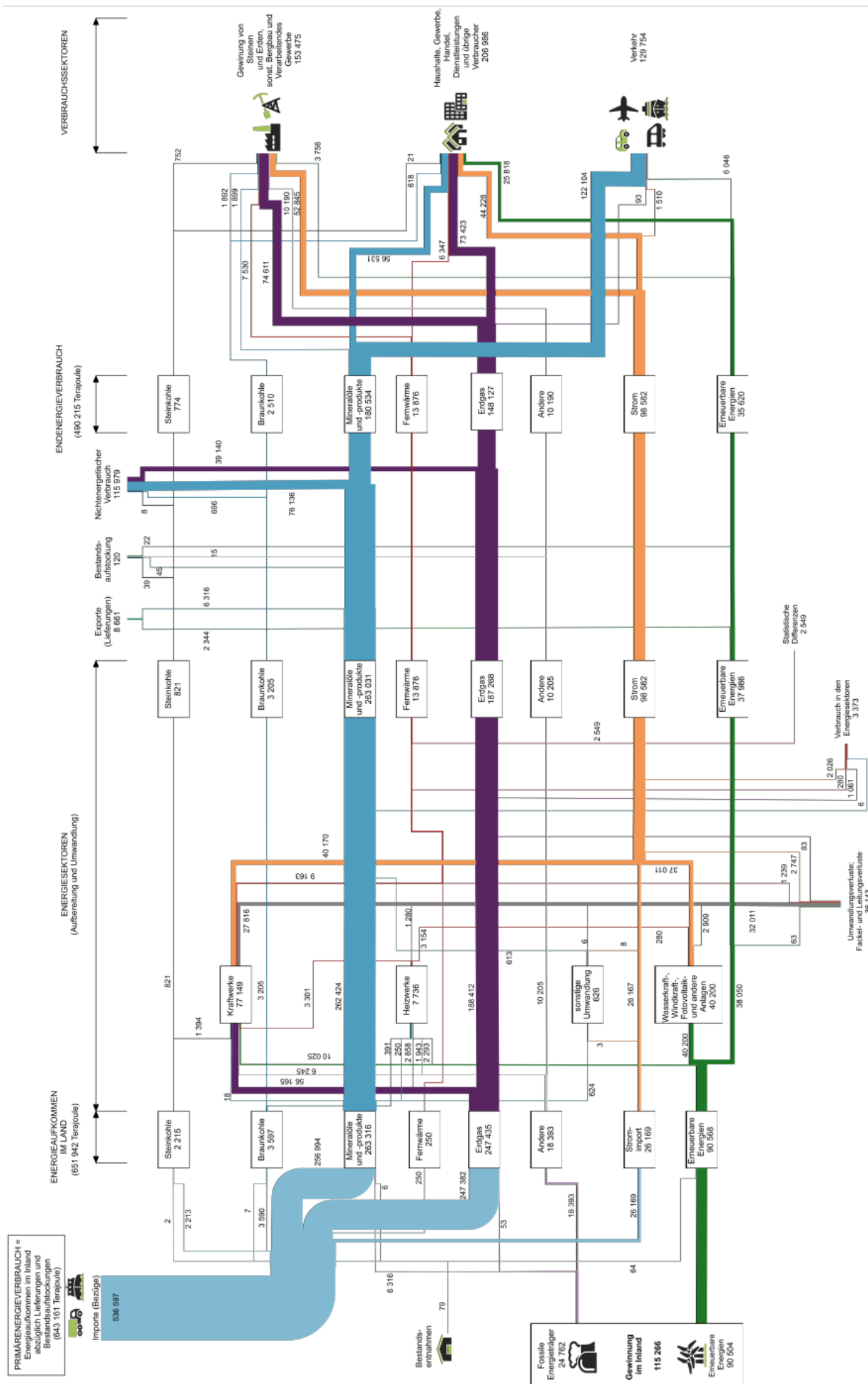
<b>Energieträger</b>	<b>Mengeneinheit</b>	<b>Heizwert (kJ)</b>	<b>SKE-Faktor</b>
Steinkohlen <sup>1)</sup>	kg	27 368	0,934
Steinkohlenkoks <sup>2)</sup>	kg	28 739	0,981
Steinkohlenbriketts <sup>2)</sup>	kg	31 398	1,071
Braunkohlen <sup>1)</sup>	kg	9 050	0,309
Braunkohlenbriketts <sup>2)</sup>	kg	19 610	0,669
Andere Braunkohlenprodukte <sup>2)</sup>	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 <sup>3)</sup>	m <sup>3</sup>	35 182	1,200
Brennholz	kg	14 315	0,488
Klärgas, Deponiegas, Biogas (Methangasanteil)	m <sup>3</sup>	35 888	1,225
Rapsölmethylester (Biodiesel)	kg	37 100	1,266
Elektrischer Strom	kWh	3 600	0,123
<sup>1)</sup> Durchschnittswert für den Primärenergieverbrauch; im übrigen gelten unterschiedliche Heizwerte. <sup>2)</sup> Durchschnittswert für die Produktion und Einfuhr; im übrigen gelten unterschiedliche Heizwerte. <sup>3)</sup> Wenn statistische Daten auf H <sub>o</sub> beruhen, mit Faktor 0,9024 in H <sub>u</sub> umrechnen. Stand: April 2020			

Anhang 22: Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen  
Mengeinheiten in Wärmeinheiten zur rheinland-pfälzischen  
Energiebilanz 2019

Energieträger	Mengen- einheit	Heizwert (kJ)	SKE-Faktor
Steinkohlen <sup>1)</sup>	kg	27 374	0,934
Steinkohlenkoks <sup>2)</sup>	kg	28 739	0,981
Steinkohlenbriketts <sup>2)</sup>	kg	31 397	1,071
Braunkohlen <sup>1)</sup>	kg	9 061	0,309
Braunkohlenbriketts <sup>2)</sup>	kg	19 604	0,669
Andere Braunkohlenprodukte <sup>2)</sup>	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
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 <sup>3)</sup>	m <sup>3</sup>	35 182	1,200
Brennholz	kg	14 315	0,488
Klärgas, Deponiegas, Biogas (Methangasanteil)	m <sup>3</sup>	35 888	1,225
Rapsölmethylester (Biodiesel)	kg	37 100	1,266
Elektrischer Strom	kWh	3 600	0,123
<sup>1)</sup> Durchschnittswert für den Primärenergieverbrauch; im übrigen gelten unterschiedliche Heizwerte. <sup>2)</sup> Durchschnittswert für die Produktion und Einfuhr; im übrigen gelten unterschiedliche Heizwerte. <sup>3)</sup> Wenn statistische Daten auf H <sub>o</sub> beruhen, mit Faktor 0,9024 in H <sub>u</sub> 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
<b>Primärenergieverbrauch (PEV)</b>										
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
<b>PEV je Einwohner</b>										
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
<b>Primärenergieproduktivität<sup>1</sup></b>										
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
<b>Endenergieverbrauch (EEV)</b>										
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
<b>EEV je Einwohner</b>										
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
<b>Endenergieproduktivität<sup>1</sup></b>										
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
<b>EEV der Industrie</b>										
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
<b>EEV im Verkehr</b>										
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
<b>EEV der Haushalte und Kleinverbraucher<sup>2</sup></b>										
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 <sup>1</sup>										
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 <sup>2</sup>										
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 w eiligen 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 <sup>3</sup> (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 <sup>2</sup>	.	.	172 447	199 787	206 474	207 969	209 415	211 108	212 713
Deutschland	1 000 m <sup>2</sup>	.	.	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 <sup>2</sup>	.	.	97	104	105	105	105	105	105
Deutschland	m <sup>2</sup>	.	.	85	91	92	92	92	92	92
Wohnfläche je Einwohner										
Rheinland-Pfalz	m <sup>2</sup>	.	.	43	50	51	51	51	52	52
Deutschland	m <sup>2</sup>	.	.	39	44	45	45	45	45	46
Einfamilienhausquote <sup>4</sup>										
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 <sup>5</sup>										
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 betrieb	%	.	.	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: Bruttowertschöpfung<sup>1</sup> 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

<sup>1</sup> In je weiligen Preisen.

Quellen: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder (Berechnungsstand: August 2020/Februar 2021)

## 4.2 Entwicklung der Energiepreise

### Anhang 27: Index<sup>1</sup> 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) <sup>2</sup>	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 <sup>1</sup>	Heizöl <sup>1</sup>	Feste Brennstoffe <sup>2</sup>	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 <sup>1</sup>	Diesekraftstoff	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 <sup>1</sup>	71,1	76,3	44,5	33,8	32,3	30,2	33,5	26,2
Sonstige Energieträger <sup>2</sup>	.	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 <sup>1</sup>	19,8	21,2	12,4	9,4	9,0	8,4	9,3	7,3
Sonstige Energieträger <sup>2</sup>	.	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 <sup>1</sup>	12,3	11,8	6,6	5,3	5,0	4,6	5,2	4,1
Sonstige Energieträger <sup>2</sup>	.	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 <sup>1</sup>	.	7,2	-41,6	-24,0	-4,6	-6,6	10,9	-21,8
Sonstige Energieträger <sup>2</sup>	.	.	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 <sup>1</sup>	100	107,2	62,6	47,6	45,4	42,4	47,0	36,8
Sonstige Energieträger <sup>2</sup>	.	.	.	.	.	.	.	.
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 <sup>1</sup>	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 <sup>1</sup>	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 <sup>1</sup>	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 <sup>1</sup>	.	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 <sup>1</sup>	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 ä r m e	3,6	13,6	15,9	10,8	11,0	11,2	12,6	13,9
Sonstige Energieträger <sup>1</sup>	.	.	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 ä r m e	1,0	3,8	4,4	3,0	3,1	3,1	3,5	3,9
Sonstige Energieträger <sup>1</sup>	.	.	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 ä r m e	0,8	2,7	3,2	2,3	2,3	2,4	2,6	2,8
Sonstige Energieträger <sup>1</sup>	.	.	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 ä r m e	.	278,7	16,9	-31,8	1,7	1,7	12,3	10,5
Sonstige Energieträger <sup>1</sup>	.	.	.	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 ä r m e	100	378,7	442,8	301,8	307,0	312,2	350,5	387,3
Sonstige Energieträger <sup>1</sup>	.	.	.	.	.	.	.	.
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 <sup>1</sup>	0,5	0,2	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
Sonstige <sup>2</sup>	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 <sup>1</sup>	1,8	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Sonstige <sup>2</sup>	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 <sup>1</sup>	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 <sup>2</sup>	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 Einschl. 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 <sup>1</sup>								
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 SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>

### 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\\_tremommm\\_2019\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-29_texte_116-2020_tremommm_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: SO<sub>2</sub>-Emissionen (Quellenbilanz) 2005 – 2019 nach Energieträgern

Jahr	Insgesamt	Kohle	Mineralöle und Mineralöl- produkte	Erdgas	Biomasse <sup>1</sup>	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: SO<sub>2</sub>-Emissionen (Quellenbilanz) 2005–2019 nach Verbrauchergruppen

Jahr	Insgesamt	Umwandlung	Industrie	Verkehr	Haushalte und Kleinverbraucher <sup>1</sup>
------	-----------	------------	-----------	---------	---

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

<sup>1</sup> Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Berechnungsstand: Juli 2021.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 40: SO<sub>2</sub>-Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 – 2019 nach Energieträgern

Jahr	Insgesamt	Kohle	Mineralöle und Mineralöl- produkte	Erdgas	Biomasse <sup>1</sup>	Strom	Fernwärme	Sonstige Energie- träger
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

<sup>1</sup> enthält auch Klärgas und Deponiegas.

Berechnungsstand: Juli 2021.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 41: SO<sub>2</sub>-Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 – 2019 nach Verbrauchergruppen

Jahr	Insgesamt	Industrie	Verkehr	Haushalte und Kleinverbraucher <sup>1</sup>
------	-----------	-----------	---------	---

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 <sup>1</sup>	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 <sup>1</sup>
------	-----------	------------	-----------	---------	---

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: NO<sub>x</sub>-Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 – 2019 nach Energieträgern

Jahr	Insgesamt	Kohle	Mineralöle und Mineralöl- produkte	Erdgas	Biomasse <sup>1</sup>	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 <sup>1</sup>
------	-----------	-----------	---------	---

## 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](mailto:poststelle@mkuem.rlp.de)  
[www.mkuem.rlp.de](http://www.mkuem.rlp.de)