

15. ENERGIEBERICHT RHEINLAND-PFALZ

A N H A N G

zum

Bericht

Übersicht der Kapitel des Hauptberichtes mit Anhängen oder ergänzenden Informationen:

3.2 Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und regenerative Eigenstromversorgung	6
Anhang 1: Zubau neuer Windenergieanlagen im Wald	6
Anhang 2: Energieholzverkauf Landesforsten Rheinland-Pfalz im Jahr 2022 in Festmetern	7
3.8 Energieforschung und Wissenstransfer (Schule, Forschung, Wissenschaft)	8
3.9 Das Land als Vorbild	100
Anhang 3: Fotovoltaikanlagen in LBB-Liegenschaften	100
Anhang 4: Stromertrag der Fotovoltaikanlagen in LBB-Liegenschaften	103
Anhang 5: Wärmepumpenanlagen in LBB-Liegenschaften	104
Anhang 6: Solarthermieranlagen in LBB-Liegenschaften	105
Anhang 7: Biomasseanlagen in LBB-Liegenschaften	107
Anhang 8: Blockheizkraftwerke (BHKW) in LBB-Liegenschaften	109
Anhang 9: Erzeugter Strom und erzeugte Wärme in Blockheizkraftwerken in LBB-Liegenschaften	111
4. Entwicklung von Energieerzeugung und –verbrauch in Rheinland-Pfalz	112
Anhang 10: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2020 in spezifischen Mengeneinheiten	116
Anhang 11: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2020 in Terajoule	118
Anhang 12: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2020 in Kilowattstunden	120
Anhang 13: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2021 in spezifischen Mengeneinheiten	122
Anhang 14: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2021 in Terajoule	124
Anhang 15: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2021 in Kilowattstunden	126
Anhang 16: Zeichenerklärung zur Darstellung der Energiebilanz	128
Anhang 17: Satellitenbilanz „Erneuerbare Energieträger“ 2020	129
Anhang 18: Satellitenbilanz „Erneuerbare Energieträger“ 2021	130
Anhang 19: Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeeinheiten zur Energiebilanz 2020	131

Anhang 20: Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeeinheiten zur Energiebilanz 2021.....	132
Anhang 21: Energieflussbild Rheinland-Pfalz 2021.....	133
4.1. Rahmenbedingungen und Bestimmungsfaktoren des Energie- verbrauchs.....	134
Anhang 22: Ausgewählte Kennzahlen und Indikatoren zum Energieverbrauch 1990 - 2021.....	134
Anhang 23: Ausgewählte Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs 1990 - 2021.....	135
Anhang 24: Bruttowertschöpfung 2000 - 2022 nach Wirtschaftsbereichen.....	136
4.2. Entwicklung der Energiepreise.....	137
Anhang 25: Index der Erzeugerpreise für gewerbliche Produkte, Energie und ausgewählte Energieträger in Deutschland.....	137
Anhang 26: Index der Verbraucherpreise für Energie in Rheinland-Pfalz 1995 - 2022.....	138
Anhang 27: Index der Verbraucherpreise für Haushaltsenergie ¹ in Rheinland-Pfalz 1995 - 2022.....	139
Anhang 28: Index der Verbraucherpreise für Kraftstoffe in Rheinland-Pfalz 1995 - 2022.....	140
4.3. Entwicklung des Primärenergieverbrauchs.....	141
Anhang 29: Primärenergieverbrauch 1990 - 2021 nach Energieträgern.....	141
Anhang 30: Struktur des Energieverbrauchs 1990 - 2021.....	142
4.4. Entwicklung des Endenergieverbrauchs.....	143
Anhang 31: Endenergieverbrauch 1990 - 2021 nach Verbrauchergruppen.....	143
Anhang 32: Endenergieverbrauch 1990 - 2021 nach Energieträgern.....	144
4.5. Entwicklung des Energieverbrauchs im Bereich der Mobilität.....	145
Anhang 33: Endenergieverbrauch 1990 - 2021 im Verkehrssektor.....	145
Anhang 34: Endenergieverbrauch 1990 - 2021 nach Verbrauchergruppen und Energieträgern.....	146
4.6. Entwicklung der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs.....	147
Anhang 35: Strombilanz 1990 - 2021.....	147

4.7. Entwicklung der Wärmeerzeugung und des Wärmeverbrauchs	148
Anhang 36: Bruttoendenergieverbrauch nach Verbrauchssektoren.....	148
5. Entwicklung der Treibhausgasemissionen 1990 - 2021 (Kurzberichterstattung gemäß §7 Abs. 2 Nr. 1 LKSG)	149
Anhang 37: Hauptkategorien nach dem internationalen Berichtsformat (CRF).....	156
Anhang 38: Abgrenzung der Sektoren in der Treibhausgasberichterstattung.....	157
5.1. Treibhausgasemissionen seit 1990: Gesamtentwicklung und Bewertung	158
Anhang 39: Treibhausgasemissionen 1990 - 2021 nach Art der Gase.....	158
5.2. Treibhausgasemissionen nach Sektoren	159
Anhang 40: Treibhausgasemissionen 1990 - 2021 nach Sektoren.....	159
5.3. CO₂-Emissionen aus dem Energieverbrauch	160
Anhang 41: Ausgewählte Indikatoren zu den CO ₂ -Emissionen in Rheinland-Pfalz und in Deutschland 1990 - 2021.....	160
Anhang 42: CO ₂ -Emissionen (Quellenbilanz) 1990 - 2021 nach Energieträgern.....	161
Anhang 43: CO ₂ -Emissionen (Quellenbilanz) 1990 - 2021 nach Emittenten.....	162
Anhang 44: CO ₂ -Emissionen (Verursacherbilanz) 1990 - 2021 nach Energieträgern.....	163
Anhang 45: CO ₂ -Emissionen (Verursacherbilanz) 1990 - 2021 nach Emittenten.....	164
Anhang 46: CO ₂ -Emissionsfaktoren 2021 nach Energieträgern.....	165
Anhang 47: Temperaturbereinigte CO ₂ -Emissionen (Quellenbilanz) in Rheinland-Pfalz 2021.....	166
Anhang 48: CO ₂ -Emissionen (Verursacherbilanz) in Rheinland-Pfalz 2021.....	167
Anhang 49: Temperaturbereinigte CO ₂ -Emissionen (Verursacherbilanz) in Rheinland-Pfalz 2021.....	168
5.4. CO₂-Emissionen aus Produktionsprozessen (nicht energiebedingt) und weitere Treibhausgasemissionen	169
Anhang 50: Methanemissionen 1990 - 2021 nach Sektoren.....	169
Anhang 51: Lachgasemissionen 1990 - 2021 nach Sektoren.....	170
6. Entwicklung der energiebedingten Emissionen von SO₂ und NO_x	171
Anhang 52: SO ₂ -Emissionen (Quellenbilanz) 2005 - 2021 nach Energieträgern.....	172

Anhang 53: SO ₂ -Emissionen (Quellenbilanz) 2005 - 2021	
nach Verbrauchergruppen.....	173
Anhang 54: SO ₂ -Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 - 2021	
nach Energieträgern.....	174
Anhang 55: SO ₂ -Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 - 2021	
nach Verbrauchergruppen.....	175
Anhang 56: NO _x -Emissionen (Quellenbilanz) 2005 - 2021	
nach Energieträgern.....	176
Anhang 57: NO _x -Emissionen (Quellenbilanz) 2005 - 2021	
nach Verbrauchergruppen.....	177
Anhang 58: NO _x -Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 - 2021	
nach Energieträgern.....	178
Anhang 59: NO _x -Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 - 2021	
nach Verbrauchergruppen.....	179

3.2 Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und regenerative Eigenstromversorgung

Anhang 1: Zubau neuer Windenergieanlagen im Wald¹

Jahr	Anlagen	Leistung (MW)	davon		
			Staatswald	Kommunalwald	Privatwald
2010	15	30,1	0	15	0
2011	51	120,0	9	40	2
2012	30	101,1	2	26	2
2013	55	163,5	2	46	7
2014	66	181,0	5	50	11
2015	31	90,6	5	22	4
2016	30	91,7	1	24	5
2017	43	128,2	1	30	12
2018	31	95,3	7	21	3
2019	12	45,3	2	9	1
2020	14	48,2	0	12	2
2021	8	33,8	0	5	3
2022	4	19,8	1	3	0
Summe (2010 - 2022)	390	1.148,4	35	303	52
Bestand (Ende 2022)	507	1.350,0	38	391	78

¹ Fachagentur Windenergie an Land; Entwicklung der Windenergie im Wald; 8. Auflage 2023
https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Windenergie_im_Wald/FA-Wind_Analyse_Wind_im_Wald_8Auflage_2023.pdf

Anhang 2: Energieholzverkauf Landesforsten Rheinland-Pfalz im Jahr 2022 in Festmetern

Verkauf durch Landesforsten	Staatswald	137.000
	Kommunalwald (nur an Endkunden)	222.000
	Privatwald	6.000
geschätzter zusätzlicher Anfall (auch Eigenbedarf)	Kommunalwald (an gewerbliche Kunden)	75.000
	Privatwald	200.000
Summe		640.000

Kunden	gewerblich	20%
	nicht gewerblich	80%

Nutzungsform	Hackschnitzel	4%
	Waldholz	96%

Anteile der Baumarten	Buche	61%
	Eiche	16%
	Nadelholz (z.B. Kiefer)	11%
	Sonstige	12%

3.8 Energieforschung und Wissenstransfer (Schule, Forschung, Wissenschaft)

Einzelprojekte der Hochschulen und der Forschungseinrichtungen

Rückmeldungen von folgenden Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen finden sich in diesem Beitrag:

- Johannes Gutenberg-Universität (JGU) Mainz
- Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU)
- Universität Trier
- Hochschule Kaiserslautern
- Hochschule Koblenz
- Hochschule Mainz
- Hochschule Trier
- Hochschule für Wirtschaft und Gesellschaft (HWG) Ludwigshafen
- Technische Hochschule Bingen
- Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)
- Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE
- Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM
- Max-Planck-Institut für Polymerforschung
- Technologie-Institut für Metall und Engineering (TIME)
- ITB – Institut für Innovation, Transfer und Beratung gGmbH
- Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM
- Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe (IVW)

Folgende Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen haben Fehlanzeige gemeldet:

- Hochschule Worms
- Helmholtz-Institut Mainz (HIM)
- Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied(MPVA)
- Institut für Biotechnologie und Wirkstoff-Forschung gGmbH (IBWF)
- Universität Koblenz
- DUV Speyer

Johannes Gutenberg-Universität Mainz:

Berichtszeitraum 2020 – 2021

Fachbereich 08

Forschungsschwerpunkte/-projekte

- **MagnEFi, Magnetism and the effects of Electric Field**

Kläui-Lab, www.klaeui-lab.de, Institut für Physik, Fachbereich Physik, Mathematik und Informatik.

Laufzeit: 2019–2023

Fördersumme: H2020-MSCA-ITN-2019 (Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Networks) Gesamt 4.041.157€; für in Mainz promovierende Teilnehmer/innen 1.011.152€

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 energiearmes, ultraschnelles Schreiben und Lesen von Informationen ermöglichen. Besonders energiesparend 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 Aktionsprogramm der EU, geförderten Projekt „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.

- **3D-MAGiC, Three-dimensional magnetization textures: Discovery and control on the nanoscale**

Kläui-Lab, www.klaeui-lab.de, Institut für Physik, Fachbereich Physik, Mathematik und Informatik.

Laufzeit: 2020 – 2026

Fördersumme: H2020-EU.1.1. - EXCELLENT SCIENCE (ERC Synergy Grant 856538). Gesamt 11.880.356 €; Anteil JGU 3.038.511 €

Gegenwärtige Informationsverarbeitung beruht im Wesentlichen auf der Von-Neumann Architektur und wird hardwareseitig mittels planarer CMOS-Technologie re-

alisiert. So gewaltig die Fortschritte unter diesem Paradigma über die letzten Jahrzehnte waren, führten sie auch zu immer neuen Bedarfen und damit trotz vorhandener Effizienzsteigerungen zu einem immer größeren Anteil am Gesamtenergieverbrauch der Menschheit. Es werden daher dringend disruptive neue Konzepte gesucht, die die räumliche Trennung von Datenspeicherung und Verarbeitung überwinden sowie über die Vernetzung in der dritten Dimension Effizienzsteigerungen von vielen Größenordnungen erlauben.

Im Forschungsprojekt 3D-MAGiC werden erstmals systematisch dreidimensionale magnetische Solitonen untersucht, die den wesentlichen Baustein einer solchen neuartigen Architektur darstellen könnten. Solche Strukturen haben mehr innere Freiheitsgrade als ihre bereits gut verstandenen zweidimensionalen Gegenstücke, was es erlaubt komplexere Informationen zu codieren. Insbesondere zeigen sie Nichtlinearität, Stochastizität und Plastizität, die die Voraussetzung für einen bestimmten Typ unkonventioneller Datenverarbeitung bilden. Als intrinsisch dreidimensionale Objekte erlauben sie zudem auf natürliche Weise Verknüpfungen in der dritten Dimension. Im Projekt werden die benötigten neuen Verfahren zur Erzeugung, Manipulation und dreidimensionalen Abbildung dieser Strukturen entwickelt, sowie erste grundlegende Rechenbausteine erprobt.

- **ASTERIQS (EU)**

Prof. Dmitry Budker / Arbeitsgruppe QUANTUM, Institut für Physik, Fachbereich 08

Laufzeit: 2018 - 2022

Fördersumme: 422.565,00 EUR

- **QUTEGA (BMBF)**

Dr. Arne Wickenbrock / Arbeitsgruppe QUANTUM, Institut für Physik, Fachbereich 08

Laufzeit: 2017 – 2021

Fördersumme: 428.640,00 EUR

- **MiLiQuant (BMBF)**

Dr. Arne Wickenbrock / Arbeitsgruppe QUANTUM, Institut für Physik, Fachbereich 08

Laufzeit: 2019 – 2022

Fördersumme: 620.640,00 EUR

Die Projekte ASTERIQS, QUTEGA und MiLiQuant widmeten sich der Entwicklung moderner Quantensensoren auf der Basis von Farbzentren und Diamanten sowie Alkalimetalldämpfen in Miniaturzellen. Die Entwicklungen der Magnetometrietechniken innerhalb dieser Projekte wurden in Zusammenarbeit mit Prof. Alexej Jerschow von der New York University auf die Batteriediagnostik angewendet.

Die Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Jerschow in der Zeit von 2020 – 2021 führte zu den untenstehenden Publikationen und trug zu seiner Nominierung für den Carl-Zeiss-Humboldt-Forschungspreis bei, der ihm 2023 verliehen wurde (Fördersumme: 100.000 EUR, Laufzeit: 2023 – 2024).

1. Forschungsprojekt zur Atommagetometer-basierten Batteriediagnose, das zu zwei Veröffentlichungen führte:

- Yinan Hu, Geoffrey Z. Iwata, Lykourgos Bougas, John W. Blanchard, Arne Wickenbrock, Gerhard Jakob, Stephan Schwarz, Clemens Schwarzinger, Alexej Jerschow, and Dmitry Budker, Rapid online solid-state battery diagnostics with optically pumped magnetometers, *Appl. Sci.* **2020**, *10*(21), 7864; [arXiv:2010.02031](https://arxiv.org/abs/2010.02031) (2020)
- Yinan Hu, Geoffrey Z. Iwata, Mohaddese Mohammadi, Emilia V. Silletta, Arne Wickenbrock, John W. Blanchard, Dmitry Budker, and Alexej Jerschow, Sensitive magnetometry reveals inhomogeneities in charge storage and weak transient internal currents in Li-ion cells, *PNAS* (2020); [arXiv:1905.12507](https://arxiv.org/abs/1905.12507)

Hybrides Fermionisches Quantenrechnen für die Katalysatorentwicklung - HFAK (BMBF)

Arbeitsgruppe Schmidt-Kaler, QUANTUM, Fachbereich 08

Die chemische Industrie ist ein wichtiger Pfeiler der deutschen Wirtschaft, aber auch einer der größten Energiekonsumenten aufgrund der hohen Temperatur und teilweise dem Stromverbrauch benötigt für chemische Reaktion.

Exakte Berechnungen von Grundzustandsenergien und Anregungsspektren komplexer Moleküle ist eine herausragende Herausforderung beim Design neuer chemischer Prozesse und Substanzen, welche diesen Energieverbrauch drastisch senken können.

Insbesondere in der Katalysatorforschung zur Effizienzsteigerung und im Recycling mit dem Ziel einer zirkulären chemischen Wirtschaft haben neuartige Methoden für diese Probleme ein hohes Energiesparpotenzial. Es müssen komplett neue Lösungen für chemische Probleme gefunden werden und die Tatsache, dass diese Lösungen noch nicht existieren zeigt, dass klassische Methoden an ihre Grenzen stoßen. Nicht nur können durch Arbeiten mit Quantenrechnen völlig neue Prozesse entwickelt werden, auch ist der Energieverbrauch der notwendigen Berechnungen deutlich geringer als der eines Supercomputers. Wir werden auf dem Ansatz des variationellen Quanten-Eigenlösers aufbauen, welcher ein völlig neues Fenster für die computerchemische Berechnung herausfordernder Substanzen.

Laufzeit: 2021-2024

Fördersumme: 1.5 Mio €

Ionen-Quantenprozessor mit HPC-Anbindung - IQuAn (BMBF)

Arbeitsgruppe Schmidt-Kaler, QUANTUM, Fachbereich 08

Ziel ist Aufbau und Betrieb eines Quantenprozessors basierend auf gefangenen atomaren Ionen, der an den Mainzer Supercomputer MOGON angebunden und wird schließlich als User-Facility auch externen Nutzern zur Verfügung gestellt wird. Hybrides quanten/klassisches Rechnen ermöglicht die Implementierung von neuartigen Algorithmen, die deutlich energieeffizienter berechnet werden können als bei der Verwendung eines einfachen Supercomputers. Das Projekt IQuAn stellt die experimentellen Bedingungen zur Verfügung, um quantenchemische Rechnungen zur Katalyse durchführen zu können (siehe HFAK). Hybrides Rechnen wird transformative Möglichkeiten bei der Forschung nach neuartigen Materialien für die chemische Industrie, Energieerzeugung, der pharmazeutischen Forschung und nahezu jedem anderen Forschungsbereich relevant für das heutige Leben haben.

Laufzeit: 2020-2024

Fördersumme: 12 Mio €

Quantenthermische Maschinen

Arbeitsgruppe Schmidt-Kaler, QUANTUM, 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 die Theorie das Projekt die Materialien und Materialkombinationen und wird insbesondere die Grenzflächeneigenschaften berechnen. Die nanostrukturierten 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: 2022 - 2026

Fördersumme: 300.000€

Forschungsprojekt:

Entwicklung und Implementierung von Algorithmen auf Basis des Machine Learning zur Erstellung von Verbrauchsprognosen für größere Stromverbraucher (ZIM – BMWi)

Arbeitskreis Prof. Dr. Stefan Kramer, Institut für Informatik, Fachbereich 08

Die Kosten für Ausgleichsenergie aufgrund von Prognosefehlern an der europäischen Strombörse EPEX SPOT belaufen sich für einzelne Bilanzkreise auf bis zu 40 Millionen Euro jährlich. Durch die steigende Komplexität des Day-Ahead und Intraday-Handels, hervorgerufen von fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen und dem Aufbau von intelligenten Stromnetzen, wird die Prognoseerstellung in Zukunft weiterhin diffiziler. Im Rahmen eines vom BMWI-geförderten Projektes wurde in Kooperation der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz und einem Direktvermarkter von erneuerbaren Energien ein Prognoseverfahren entwickelt, welches exaktere Energieverbrauchsprognosen für industrielle Großkunden erstellt und damit verbundene Mengen und Risiken bzw. Kosten für die Ausgleichsenergie senkt. Darüber hinaus wurde eine Methode entwickelt, mit der man Informationen aus Datenströmen extrahieren kann, um statistische Analysen und potenzielle Alternativszenarien zu ermöglichen. Solche Informationen können von den Großkunden in unterschiedlichen Bereichen verwendet werden, von der Statistik bis hin zur anonymen Weiterverarbeitung kombinierter Datenströme.

Laufzeit: 2019-2021

Fördersumme: 189.745€

Weitere Maßnahmen/Initiativen

Sondierungsprojekt zur diamantbasierten Batteriediagnostik mit folgenden Ergebnissen: (Prof. Dmitry Budker, Dr. Arne Wickenbrock)

Xue Zhang, Georgios Chatzidrosos, Yinan Hu, Huijie Zheng, Arne Wickenbrock, Alexej Jerschow, and Dmitry Budker, Battery characterization via eddy-current imaging with nitrogen-vacancy centers in diamond; [Appl. Sci.](#) , **11**(7), 3069 (2021); [arXiv:2102.11014](#)

Fachbereich 09

Forschungsschwerpunkte/-projekte

- **ELYSION (CARL-ZEISS-STIFTUNG)**

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

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

Laufzeit: 2016-2020

Fördersumme: 850.000€

AnticancerBET (EU)

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 Potenzial 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 werden. 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 dieses Nebenstroms verhindert CO₂-Emissionen und schont fossile Kohlestoffquellen.

Laufzeit: 2018-2022

Fördersumme: 348.000€

LIBERATE (EU)

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

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

Laufzeit: 2018-2022
Fördersumme: 917.000€

SElectiveLi (EU)

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 Assessment) 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 dieser Nebenstroms verhindert CO₂-Emissionen und schont fossile Kohlestoffquellen.

Laufzeit: 2019-2022
Fördersumme: 786.000€

UNODE (DFG-FOR 2982)

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

Eine auf Wasserstoff basierende Energiezukunft ist unausweichlich und die Erzeugung dieses Energieäquivalents wird definitiv durch Elektrolyse erfolgen. Die Sauerstoffentwicklung im Zuge der Wasserelektrolyse stellt nach wie vor eine Herausforderung dar, die aufgrund der hohen Überspannungen eine erhebliche Menge an elektrischer Energie verbraucht. Alternative anodische Umwandlungen, die kein Sauerstoffgas freisetzen, sondern als nützliche und signifikante anodische Umwandlungen dienen, stellen eine innovative Lösung dar. Hierfür werden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt: Einerseits die Entwicklung und Etablierung elektrochemischer Oxidationen mit hoher Wirkung und technischer Relevanz und andererseits die Erzeugung anodisch oxidierbarer 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€

NGeCascades – Next Generation electroenzymatic cascades for complex molecules (SPP2240)

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

In diesem Projekt wird die elektroenzymatische Synthese genutzt, um die Produktion wertvoller Biomoleküle mit ihren chemischen Bausteinen und dem erforderlichen Cofaktor ATP voranzutreiben. Die Naturproduktfamilie Aurachin veranschaulicht den synthetischen Nutzen elektroenzymatischer Kaskaden, z.B. zur Bildung von Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen. Biosynthetisch stammen die Aurachine aus der Verknüpfung eines von Anthranilsäure abgeleiteten Chinolon-N-oxid-Teils mit Farnesylpyrophosphat (FPP). Die enzymatische Reaktionssequenz, die zu FPP führt, verbraucht mehrere Moleküle von ATP und dient als exemplarisches Modell für die elektroenzymatische Herstellung des "universellen Energieträgers". Darüber hinaus stellt der Chinolon-Baustein ein interessantes Ziel dar, um neue biomimetische elektrochemische Synthesewege zu entwickeln und Derivate zu erzeugen. Solche Analoge werden einen Einstiegspunkt für die gezielte in vivo und in vitro Biosynthese von maßgeschneiderten Aurachinen für Struktur-Aktivitäts-Beziehungen bieten. Aus medizinisch-chemischer Sicht ist dieser Ansatz angesichts der starken antibakteriellen und antiplasmativen Eigenschaften der Aurachine sehr attraktiv. Da ATP und abgeleitete Energieträger in der Biosynthese allgegenwärtig sind, werden die in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse dazu beitragen, den elektroenzymatischen Syntheserahmen erheblich zu erweitern und könnten auch als Blaupause für einen künstlichen Stoffwechselweg für zukünftige bio(elektrochemische) Systeme dienen.

Laufzeit: 2021-2026

Fördersumme: 159.000€

ECHELON (CARL-ZEISS-STIFTUNG)

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

Das Projekt ECHELON beschäftigt sich mit disruptiven Elektroden-Elektrolyt-Konzepten jenseits aktueller wissenschaftlicher Beschränkungen. Für eine direkte stoffliche Nutzung von Strom zu Wertprodukten wie z.B. Feinchemikalien aus Biomasse ist die Desoxygenierung von organischen Substraten eine der elektrochemischen Schlüsselreaktionen, die bislang nicht gelöst sind. Da aufgrund der Nachhaltigkeit in protischen Medien gearbeitet werden muss, ist die zentrale Herausforderung die Vermeidung der parasitären elektrolytischen Wasserstoffentwicklung. Durch neue innovative Kathodenmaterialien soll eine signifikante Erweiterung des elektrochemischen Fensters wässriger Medien erreicht werden. Damit eröffnet sich eine völlig neue Perspektive für die nachhaltige Synthese von hochwertigen Wertprodukten. Der wissenschaftliche Erfolg wird durch gemeinsame und interdisziplinäre Forschung bestehend aus Theorie und Experiment gewährleistet.

Laufzeit: 2021-2025

Fördersumme: 2.350.000€

Strategies to Overcome Contemporary Limitations of Reductive Electrosynthetic Conversions in Aqueous Media (DFG & NSF)

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

In diesem Projekt stellen wir hochgradig disruptive Konzepte vor, um die schwerwiegenden Mängel der Wasserstoffentwicklung und der kathodischen Korrosion bei der reduktiven organischen Elektrosynthese zu beheben. Indem wir uns auf kationische Wasserstoffinhibitoren und unkonventionelle Kathodenmaterialien konzentrieren, werden wir hindernde Probleme effizient angehen. Auch die breitere Implementierung dieser inhärent grünen Technik ist möglich. Beide individuellen Konzepte liegen jenseits der derzeitigen Spitzenposition in der organischen Elektrosynthese an sich. Die einzelnen komplementären Ansätze können jedoch fruchtbar miteinander kombiniert werden, was weitreichende Auswirkungen auf die Chemie, den Maschinenbau und die chemische Industrie haben wird.

Laufzeit: 2021-2024

Fördersumme: 479.000€

ETOS – Elektrifizierung Technischer Organischer Synthesen (BMBF, Konzeptionsphase in Zukunftscluster-Initiative)

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

ETOS strebt die Etablierung eines interdisziplinären Innovationsnetzwerkes an, dass sich mit dem Transfer elektroorganischer Synthesen vom Labor- in den industriellen Maßstab beschäftigt. Ziel ist es die nachhaltige elektrochemische Herstellung von organischen Wertstoffen und Chemikalien (Power-to-Chemicals), zu einer Schlüsseltechnologie der chemischen Industrie in Deutschland zu etablieren. ETOS ist die erste große Technologieplattform, die Brücken zwischen der organischen Synthesechemie bis hin zur (elektro-)chemischen Verfahrens- und Re-

aktionstechnik schlägt und neuartige Lösungsvorschläge und Schlüsseltechnologien für nachhaltige, robuste und zukunftsfähige Prozesse und Produkte entlang der gesamten Wertschöpfungskette generiert. Das Netzwerk wird den Wirtschaftsstandort Deutschland stärken und zukunftsfähig gestalten und eine nachhaltige chemische Produktion im Hinblick auf die wegweisenden Aspekte der Energie- und Ressourceneffizienz, Defossilierung chemischer Prozesse bis hin zur CO₂-Neutralität und der Kreislaufwirtschaft sicherstellen. Die Konzeptionsphase wurde 2022 erfolgreich abgeschlossen und ETOS befindet sich seit 2023 in der ersten Umsetzungsphase

Laufzeit: 2021-2022

Fördersumme: 71.000€

EBIO - Biofuels through Electrochemical transformation of intermediate BIO-liquids (EU)

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

Die Verfügbarkeit kosteneffizienter Lösungen für eine nachhaltige Energieerzeugung ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass erneuerbare Energieträger in Europa zur dominierenden Primärenergiequelle werden. EBIO wird dazu beitragen, das ehrgeizige Ziel der EU zu erreichen, indem es eine innovative technische Lösung für die nachhaltige und sozialverträgliche Umwandlung von geringwertigen Bio-Rohflüssigkeiten, insbesondere Pyrolyseöl und Schwarzlauge, in energiedichte Kraftstoffe für den Verkehr bereitstellt.

Laufzeit: 2020-2024

Fördersumme: 617.000€

FOREST II (BMBF)

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

Mit Redox-Flow-Batterien kann Energie großtechnisch gespeichert werden, sodass die notwendigen Speicherkapazitäten im GWh-Bereich realisiert werden können. Ein Vorteil der Redox-Flow-Batterien ist, dass die Speicherkapazität unabhängig von der elektrochemischen Wandlereinheit und damit der elektrischen Leistung skaliert werden kann. Die hohen Speicherkapazitäten erfordern sehr große Mengen an Elektrolyt. Lignin, ein nachwachsender Rohstoff, ist die größte natürliche Quelle für aromatische Verbindungen. Dementsprechend sollen in diesem Verbundprojekt organische Elektrolyte in einem innovativen Konversionsverfahren aus Lignin hergestellt werden. Weiterhin sollen im Rahmen des Projekts die Elektroden der Redox-Flow-Batterie für Lignin-basierte Elektrolyte optimiert werden. Lignin kann für diesen Ansatz direkt aus dem Wertstoffkreislauf der Zellstoffproduktion entnommen werden. Die nicht zu Elektrolyt umgewandelten Bestandteile des Lignins können wieder in den Wertstoffkreislauf der Zellstoffindustrie zurückgeführt und zur energetischen Verwertung genutzt werden.

Laufzeit: 2020-2023

Fördersumme: 252.000€

- **Licht-kontrollierte Reaktivität von Metallkomplexen (DFG SPP2102, Koordinationsprojekt)**

K. Heinze/AK Heinze, Department Chemie, Fachbereich 09

Das Design der potentiellen Energielandschaft elektronisch angeregter Zustände in diskreten Metallkomplexen ist von größter Bedeutung für die Entdeckung und Nutzung der Photophysik und Photochemie dieser Verbindungsklasse. Das SPP 2102 zielt auf die Entwicklung rationaler Designkonzepte für neue funktionelle photoaktive Metallkomplexe ab. Im Mittelpunkt des Programms steht das grundlegende Verständnis der photoinduzierten metallzentrierten Prozesse und der Dynamik der elektronisch angeregten Zustände von Metallkomplexen.

Hauptziele des Koordinationsprojekts sind die Vernetzung und Anwerbung von potentiellen und existierenden interdisziplinären Kooperationspartnern, von Nachwuchswissenschaftlern, und von weiblichen Wissenschaftlern, der kontinuierliche Ausbau der Sichtbarkeit des SPPs und die wissenschaftliche Förderung von Doktoranden, insbesondere der Wissensvertiefung in den Bereichen Photophysik und Photochemie von Metallkomplexen und des Kompetenzaufbaus in relevanten spektroskopischen Techniken, was in den typischen Chemie-Mastercurricula selten ausreichend vertreten ist.

Laufzeit: 2018–2021 (1. Förderphase SPP)
366.135 €

- **NIR-Emitter mit Spinumkehr mit leicht verfügbaren Metallionen (NIR-SPINFLIP; Projekt im SPP2102)**

K. Heinze/AK Heinze, Department Chemie, Fachbereich 09

Lumineszente Metallkomplexe sind wichtige Bausteine für viele Anwendungen, z.B. in organischen Leuchtdioden. Zur Zeit bedienen sich diese Technologien vorwiegend teurer Metallvorläufer von z.B. mit Ir, Ru, Pt. Luminophore mit preiswerten, leicht verfügbaren Metallionen, die als Ersatz dienen könnten, sind bis jetzt selten, trotz des offensichtlichen Nachteils der Verwendung teurer Elemente und des hohen ökonomischen Nutzens, den neue Emitter bieten könnten. In diesem Zusammenhang sind Materialien, die im nahen Infrarot (NIR)-Bereich emittieren, besonders interessant. Diese stellen immer noch eine große Herausforderung dar, v.a. aufgrund des Vorherrschens von strahlungslos ablaufenden Deaktivierungsprozessen in elektronisch angeregten Metallkomplexen, was üblicherweise zu stark verminderter Lumineszenz-Effizienz führt.

Dieses Projekt entwickelt molekulare NIR-Emitter mit Spinumkehr, die auf leicht verfügbaren Metallionen mit d^3 - und d^2 -Elektronenkonfigurationen basieren (v.a. V- und Mo-Ionen). Der Zugang zur Realisierung effizienter Luminophore wird auf einer umfassenden Strategie basieren, fundamentale Parameter zu untersuchen und zu verbessern.

Laufzeit: 2018–2021 (1. Förderphase des SPP2102)
205.100 €

- **Modellierung der Kinetik angeregter Zustände in Eisenkomplexen (Projekt im SPP2102)**

K. Heinze/AK Heinze, Department Chemie, Fachbereich 09

Die drohende Verknappung und die steigenden Preise von Edelmetallen machen die Substitution dieser Elemente durch häufig vorkommende und vorzugsweise biokompatible unedle Metalle zu einer der großen wissenschaftlichen Herausforderungen. Bei photochemischen Anwendungen, bei denen die unbegrenzte Verfügbarkeit von Sonnenlicht eine nachhaltige Energiequelle darstellt, werden unedle Metalle als Schlüsselement den Grad der Nachhaltigkeit enorm erhöhen, da die Erschöpfung nicht erneuerbarer Ressourcen deutlich verringert wird. Das Projekt kombiniert fortgeschrittene Präparations-, spektroskopische und theoretische Methoden, um die photophysikalischen Eigenschaften von Eisenkomplexen zu optimieren, um sie als Ersatz für Edelmetallkomplexe wie die üblicherweise verwendeten Ruthenium(II)- und Iridium(III)-Komplexe in photochemischen Anwendungen zu etablieren.

Laufzeit: 2018–2021 (1. Förderphase des SPP2102)
205.100 €

- **Licht emittierende Chrom(III)-Komplexe im Nahinfrarotbereich - Design und Anwendungen (DFG Projekt)**

K. Heinze/AK Heinze, Department Chemie, Fachbereich 09

Die Ziele des Projekts sind Entwicklung und Anwendung neuartiger, molekularer, photostabiler, stark lumineszierender Chrom(III)-basierter NIR-Emitter (Molekulare Rubine). Diese sollen teure organische NIR-Farbstoffe und auf 4d/5d-Übergangsmetall- und Lanthanid-Komplexen basierende NIR-Emitter in photophysikalischen, photochemischen und sensorischen Anwendungen ersetzen bzw. ergänzen und grundlegend neuartige Anwendungen basierend auf der einzigartigen Zustandslandschaft von Chrom(III) in einem starken Ligandenfeld ermöglichen. Diese Zielsetzung wird durch rationales, Theorie-geleitetes Design von tridentaten Liganden für Chrom(III) erreicht. Große Chelatbisswinkel bewirken eine optimale Überlappung von Metall- und Ligandorbitalen. Starke Sigma-Donorliganden (elektronenreiche Pyridine, Carbene und cyclometallisierende Liganden) sollen das Ligandenfeld weiter verstärken.

Laufzeit: 2018-2021
207.000 €

AK Carsten Streb, Department Chemie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Solarenergie-Nutzung:

DFG-Transregio-Sonderforschungsbereich TRR 234 „CataLight“ (2018-2026, Verlängerung bis 2030 möglich, ca. 600.000 Euro)

Teilprojekt in DFG-Schwerpunktprogramm SPP2102 zum lichtinduzierten Protonen-Eletronen-transport (2022-2024, ca. 200.000 Euro)

Elektrokatalyse

Teilprojekt im BMBF-Zukunftscluster Electrochemische technische organische Synthese E-TOS (Laufzeit: 2023-2025, ca. 200.000 Euro)

Teilprojekt im Carl-Zeiss-Durchbrüche-Projekt „Halocycles“ (Laufzeit: 2023-2028, ca. 250.000 Euro)

- **RESKIN-MOVE**

Arbeitskreis Prof. Kersten, Institut für Geowissenschaften, Fachbereich 09

Die Nutzung unterirdischer Geosysteme im Zuge der Gewinnung von Energie und Energieträgern (z.B. Tiefe Geothermie) oder die Speicherung von Energieträgern wie Wasserstoff im Untergrund hängt primär von den Durchlässigkeiten der vorherrschenden Gesteine ab. In Festgesteinen mit höherer Porosität (z.B. Sandstein) kann die Injektion von Lösungen zu einer Verlagerung des mobilisierbaren Tonmineralinventars und damit einhergehender Verringerung der Durchlässigkeiten führen. Die Ziele dieses vom BMBF geförderten Verbund-Projektes sind (1.) ein verbessertes Verständnis der Bildung und Entwicklung des Tonmineralinventars an Beispielen typischer Reservoirgesteine zu erhalten, (2.) die Wirkung des mobilisierbaren Tonmineralinventars durch Experimente an der Messeinrichtung für Mikrotomographie der Synchrotronanlage PETRA-III in Hamburg zu visualisieren, (3.) die Wirkung der Tonmineralmobilisierung auf der Poren-Skala (z.B. Druckanstieg infolge Porenhalsblockade) an Realbeispielen zu analysieren/quantifizieren, und (4.) neue numerische Methoden zur Modellierung der Wirkung dieser Prozesse auf Reservoir-Durchlässigkeiten auf der Porenskala zu entwickeln und mit Hilfe der Experimente zu validieren.

Laufzeit: 2020-2023

Fördersumme (Teilprojekt der JGU): 202.000€

Maßnahmen aus dem Bereich Wissenstransfer

Dr. Welschhof, Christa/ NaT-Lab für Schülerinnen und Schüler/ FB 09

Schulklassenprojekt „Klima im Wandel – Der Kohlenstoffkreislauf“

In 2022 ist im Rahmen einer Masterarbeit ein Schulklassenprojekt für 10. Klassen entstanden. Die Schülerinnen und Schüler experimentieren zu Themen wie Treibhauseffekt, warum wird die Erde wärmer, was sind Kohlenstoffdioxidquellen (hier verbrennen die Schülerinnen und Schüler Benzin und ermitteln wieviel CO₂ aus einer bestimmten Menge Benzin entstehen kann), Sie arbeiten zu dem Thema: Ozeane als CO₂- Speicher und CO₂-Quelle sowie Wasserstoffauto als Alternative und Kippunkte. Bei all diesen Experimenten und Alltagsthemen spielt die Frage des Energieverbrauchs und -sparens eine Rolle.

Da die Schülerinnen und Schüler von Lehramtstudierenden der Chemie betreut werden, ist der Lerneffekt zum Thema Energie und Klima auch für die Studierenden groß.

Das Projekt entstand im Sommer 2022 und wurde in 2022 viermal durchgeführt.

Finanzierung: Eigenmittel

Dr. Welschhof, Christa/ NaT-Lab für Schülerinnen und Schüler/ FB 09

Lehrkräftefortbildung „Klimakoffer in RLP“

An der JGU fanden in 2023 zweimal jeweils 2-tägige Lehrkräftefortbildungen zum Thema „Klimawandel - verstehen und handeln“ statt. An jeder Veranstaltung nahmen 30 Lehrerinnen und Lehrer von weiterführenden Schulen aus Mainz und Umgebung teil.

Während der Fortbildungstage lernen die Lehrerinnen und Lehrer die Experimente des Klimakoffers kennen, erhalten viele Hintergrundinformationen und erarbeiten die Verwendung der Experimente und Informationen für ihre eigene Schule. Mit dem Aspekt des „Handelns“ setzen sich die Lehrerinnen und Lehrer sowie Schülerinnen und Schüler mit dem Energieverbrauch in der Schule und im Privatleben auseinander.

Die Veranstaltungen wurden vom Pädagogischen Landesinstitut RLP und dem NaT-Lab der JGU organisiert und durchgeführt.

Finanzierung: Ministerium für Bildung RLP

Dr. Pauly, Annabel/ Fachdidaktik Chemie

Dr. Welschhof, Christa/ NaT-Lab für Schülerinnen und Schüler/ FB 09

Modul 3- Fachdidaktik Chemie: „Klimabildung im Chemieunterricht“

Studierende im Lehramt Chemie haben im Rahmen des Fachdidaktik-Seminars den Klimakoffer für Schulen in RLP kennengelernt und Anknüpfungspunkte an den Unterricht, sowie den Basiskonzepten, der Kommunikation, der Bewertung und der Erkenntnis) erarbeitet.

Dr. Becker, Ute/ Grüne Schule im Botanischen Garten/ FB 10

Dr. Welschhof, Christa/ NaT-Lab für Schülerinnen und Schüler/ FB 09

Ferienprojekt „HaZweiO – über Klima, Eisberge und Pflanzen“

Das Ferienprojekt ist ein interdisziplinäres (Biologie – Grüne Schule und Chemie), zweitägiges Projekt für Schülerinnen und Schüler der Klassen 9 und 10. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer erarbeiten Antworten zu dem Bereich Nachhaltigkeit im Zusammenhang mit Wasservorräten und Wasserverbrauch, sowie Grundlagen des Klimawandels, des Energieverbrauchs und Emissionen.

Das Projekt fand in den Sommerferien 2021 und Herbstferien 2022 statt. In 2023 ist es für die Herbstferien geplant.

Finanzierung: Mainzer Wissenschaftsstiftung

Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU):

Die Technische Universität Kaiserslautern (seit 1.1.2023 Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern Landau) hatte in ihrem Hochschulentwicklungsplan sechs strategische Forschungsfelder festgelegt. Drei dieser Forschungsfelder beinhalten 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 im Rahmen des Potenzialbereichs 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, intelligente Netze und energieeffiziente Prozessorarchitekturen. Diese Forschungsaktivitäten werden auch nach der Fusion mit dem Campus Landau am 01.01.2023 zur Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU) im Rahmen des neuen Forschungsprofils der RPTU fortgesetzt und weiterentwickelt.

An der Technischen Universität Kaiserslautern liefen in den Jahren 2020 und 2021, neben aus diversen anderen Programmen geförderten Projekten, ca. 25 Vorhaben, die Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung gefördert wurden bzw. werden. Im Folgenden sind ausgewählte Beispiele dieser Vorhaben beschrieben.

Ausgewähltes Beispiel OptiChargePlus - Effizienzsteigerung und Optimierung einer regenerativ versorgten Ladeinfrastruktur mit Vanadium-Redox-Flow-Batterie durch nutzungsorientiertes Lade- und Energiemanagement, innovative DC-Netzstruktur und Anbindung an das Internet; TV: Energie-, Lade- und Netzmanagementsystem

01.12.2019 -30.09.2023

Im Rahmen des Vorhabens OptiCharge-PLUS entsteht eine moderne, innovative und auf regenerativer Energie basierende, speichergestützte Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Fahrzeuge im Sinne einer Forschungsplattform. Die Testanlage besteht im Wesentlichen aus einer PV-Anlage, einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie, einem DC-Micro-Grid, drei AC-Ladesäulen, einer DC-Schnellladesäule sowie einer untergeordneten Li-Ionen Batterie. Übergreifend wird die Testanlage durch ein Energiemanagementsystem mit dem Ziel gesteuert, einen möglichst großen Anteil zur Verfügung stehender regenerativer Energie für die Ladung der Fahrzeugbatterien zu nutzen. Das Vorhaben OptiCharge-PLUS verknüpft die Sektoren alternative Mobilitätskonzepte, (Strom-)Speicher und auf Simulationsebene auch die Wärmever-

sorgung auf Basis erneuerbarer Energien und trägt insbesondere durch die Einbindung potentieller Nutzer wesentlich zur Akzeptanzsteigerung und daraus resultierend zur beschleunigten Verbreitung der eingesetzten Technologien bei. Das Fachgebiet für Elektromobilität wird ein ganzheitliches Netz-, Energie- und Lademanagementsystem für die Testanlage entwickeln. Das Netzmanagementsystem übernimmt die Netzregelung und -stabilisierung in dem DC-Micro-Grid. Das Energiemanagementsystem bestimmt die Energieverteilung innerhalb der Anlage. Hierbei werden sowohl energetische Aspekte (z. B. Wirkungsgrad der Gesamtanlage und Vanadium-Redox-Flow-Batterie durch Verknüpfung mit dem Batteriemanagementsystem) als auch ökonomische Aspekte (z. B. Betriebskosten) berücksichtigt. Zusätzlich werden Netzdienstleistungen (u. a. zur Frequenz-/Spannungshaltung) durch das Energiemanagementsystem bereitgestellt. Das Lademanagementsystem bildet die Schnittstelle zwischen Nutzer und Anlage (Reservierung von Ladepunkten, Steuerung und Abrechnung von Ladevorgängen sowie Buchung von Fahrzeugen). Für die Managementsysteme werden neuartige Methoden erforscht, die Konzepte der Regelungstechnik und künstlichen Intelligenz miteinander verknüpfen.

Neben der RPTU Kaiserslautern-Landau (im Berichtszeitraum noch TU Kaiserslautern) forschen in dem Projekt die Universität des Saarlandes, die TRUMPF Hüttinger GmbH + Co. KG, Freiburg im Breisgau, die SCHMID Energy Systems GmbH, Freudenstadt unter Federführung der IZES gGmbH in Saarbücken. Gefördert wird das Projekt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.

Ausgewähltes Beispiel EnOB: MultiFace - Multifunktionale, schlanke, wärmedämmende Fassadenelemente mit erhöhter Wärmespeicherkapazität und integrierter aktiver Temperierung zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz von Gebäuden; Teilvorhaben: wissenschaftliche Begleitung und Gesamtprojektkoordination

01.01.2021-31.12.2023

In MultiFace werden energie- und ressourceneffiziente, innovative und architektonisch hochwertige Fassadenelemente mit multifunktionalen Eigenschaften erforscht und entwickelt. Die Multifunktionalität zeigt sich in der Kombination und der sich ergebenden synergetischen Wirkung unterschiedlicher Elemente, die die Nutzung regenerativer Energiequellen an der Gebäudefassade auf neuartige Weise umsetzen und ausbauen. Die Projektentwicklungen finden sich in einem geschosshohen großflächigen Demonstrator wieder, der im Rahmen des Projekts hergestellt und mittels eines Monitorings energetisch charakterisiert sowie einer Betriebsoptimierung unterzogen wird. Dabei liegt ein besonderes Augenmerk in der Verknüpfung des Demonstrators mit der Gebäudetechnik, um das Optimierungspotenzial in Bezug auf die Gebäudetemperierung voll auszuschöpfen. Anhand von Systemsimulationen soll die Performance des multifunktionalen Fassadensystems in Kombination mit entsprechender Gebäudetechnik wie Wärmepumpe und PV evaluiert werden. Bei entsprechend positiven Ergebnissen soll das System dann im Rahmen eines Folgeprojektes endentwickelt sowie in einem Demogebäude eingesetzt und im Realbetrieb getestet werden.

Neben der RPTU Kaiserslautern-Landau (im Berichtszeitraum noch TU Kaiserslautern) forschen in dem Projekt sieben weitere Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft unter Federführung des Center for Applied Energy Research e.V. in Würzburg. Gefördert wird das Projekt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.

Ausgewähltes Beispiel EnOB: LEXU_PLUS - Entwicklung und Erprobung innovativer vorgefertigter Sandwich-Fassaden-Elemente, zur ganzheitlich niederexergetischen Temperierung von Bestandsgebäuden, unter Ausnutzung der Gebäudestruktur (Teilvorhaben: Statische Bauteilentwicklung)

01.05.2021-30.04.2024

Die zentrale Projektidee von LEXUplus ist die Entwicklung vorgefertigter Sandwich-Fassaden-Elemente für Sanierungen im Gebäudebestand, welche sowohl Umweltenergie nutzen, Wärme/Kühle speichern, aktiv die Wärmeverluste der angrenzenden Räume über die sanierte Außenwand reduzieren und zusätzlich die Räume temperieren können. Somit erfüllen die zu entwickelnden Elemente neben statischen Funktionen auch vollumfänglich folgende energetischen Funktionen: Energiegewinnung, Energiespeicherung, Temperierung und Wärmedämmung. Die Entwicklung betrifft die Integration thermischer Funktionen in vorgefertigte Sandwich-Fassaden-Elemente unter Nutzung neuer Verbindungsmittel, der Umsetzung an einem Demonstrator sowie der Übernahme der Erkenntnisse in die überbetriebliche Ausbildung. Zusätzliche wesentliche Bestandteile von LEXUplus sind die Untersuchung des praxisnahen Betriebsverhaltens der Bauteile im Testbetrieb sowie ein umfangreiches Monitoringprogramm zur Validierung der theoretischen Modelle und Konzepte. Der Testbetrieb wird dabei sowohl im Labor als auch im Demonstrator 'Smallhouse IV' durchgeführt. Zusätzlich erfolgen der Aufbau einer Demonstrationsfassade und die Durchführung von Applikationstests in einem überbetrieblichen Ausbildungsbetrieb, wodurch insbesondere eine Steigerung der Akzeptanz in der Baupraxis erwartet wird. Das Teilvorhaben der TU Kaiserslautern beschäftigt sich mit der Konzeptionierung und der statisch konstruktiven Bauteilentwicklung des Sandwich-Fassaden-Elementes. Die Arbeiten umfassen Laboruntersuchungen hinsichtlich der thermischen Leistungsfähigkeit, Tragfähigkeitsuntersuchungen am Verbindungs- und Befestigungsmittel sowie der Konstruktion des entwickelten SF-Elementes. Ein experimentell validiertes Bemessungskonzept gewährleistet die praxisgerechte wirklichkeitsnahe Traglastermittlung. Zur Validierung der thermischen Versuchs- und Simulationsergebnisse wird abschließend ein Langzeit-Monitoring im Großdemonstrator durchgeführt.

Dem LEXUplus Konsortium gehören neben der RPTU Kaiserslautern-Landau (im Berichtszeitraum noch TU Kaiserslautern) die IZES gGmbH, Saarbücken (Koordinator), die Firma Schöck Bauteile GmbH, Baden-Baden und das Berufsförderungswerk der südbadischen Bauwirtschaft GmbH, KOMZET BAU BÜHL an. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert.

Ausgewähltes Beispiel EnEff:Stadt: ModEMS4Q - Entwicklung von Modernisierungskonzepten für Wohnquartiere im Bestand auf Basis eines gebäudeübergreifenden Energiemanagementsystems zur optimierten Einbindung von erneuerbaren Energien

Im Forschungsprojekt ModEMS4Q sollen Modernisierungskonzepte für Bestands-Wohnquartiere auf Basis eines gebäudeübergreifenden Energiemanagementsystems (EMS) mit erneuerbaren Energien (EE) untersucht werden. Ein gebäudeübergreifendes EMS ist wesentlich für die Systemintegration zur Wärme- und Strombereitstellung innerhalb von Quartieren. Dazu müssen Bestandsquartiere umfassend energetisch ertüchtigt werden. Das Grundkonzept zur Modernisierung in ModEMS4Q sieht die Ausrüstung von Quartieren mit einem Wärmepumpensystem (zentral oder dezentral) stets in Verbindung mit PV-Anlagen und einem gebäudeübergreifenden EMS vor. Mittels des EMS soll durch angebotsabhängige Steuerung der Wärmeerzeugung bzw. Stromnutzung und Einbindung von Speichern (thermisch, evtl. chemisch, elektrisch) der EE-Verbrauch im Quartier optimiert werden. Als Speicher werden auch Elektrofahrzeuge einbezogen. Je nach energetischem Ausgangszustand der Gebäude sind spezielle Modernisierungsmaßnahmen erforderlich. Im Rahmen des Projekts werden ein erforderlicher energetischer Standard definiert und entsprechende Maßnahmen identifiziert. Hierbei wird auf relevante Ergebnisse aus vorangegangenen Forschungsprojekten und bestehende Quartierskonzepte zurückgegriffen. Ein wirtschaftlich tragfähiges Betriebsführungskonzept wird während der Projektlaufzeit mit den Praxispartnern (Bestandshalter, Versorgungsunternehmen, PV-Fachplaner, Wärmepumpenhersteller, Energieagentur) erarbeitet. Dabei werden für die Modernisierungskonzepte umfassende Lebenszyklusanalysen (LZK-Analysen) durchgeführt. Bestehende und neue Finanzierungsmodelle von Bund, Ländern und Kommunen sollen dabei explizit mitberücksichtigt werden. Die Umsetzbarkeit der entwickelten Modernisierungskonzepte soll anhand von vier Bestands-Wohnquartieren in Zusammenarbeit mit den Praxispartnern validiert werden. Nach erfolgreicher Konzeptphase ist die Umsetzung des entwickelten Konzeptes in mindestens einem Quartier als Folgeprojekt anvisiert.

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert

Universität Trier:

Forschungsschwerpunkte im Berichtszeitraum 2020-2021

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

In diesem Zusammenhang sind beispielhaft folgende Projekte zu nennen:

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

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

Verbundprojekt „EiFer: Energieeffizienz durch intelligente Fernwärmenetze“

Prof. Dr. Nicole Marheineke, Mathematik

Prof. Dr. Martin Schmidt, Mathematik

Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung

Laufzeit: 2018 - 2021

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

Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung

Laufzeit: 2018 - 2021

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 stellen 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. Optimiert 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 verbessern

(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 und 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

Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung

Laufzeit: 2016 - 2021

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

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

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

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

Grenzüberschreitendes „Smart Light Hub, for a deLIGHTed future“

Dr. Manuel Seeger/Dr. Jesus Rodrigo Comino, Physische Geographie;
Dr. Christel Egner-Duppich/Stephan Seeling, Transferstelle

Förderung: 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 Kaiserslautern:

Forschungsschwerpunkt Hocheffiziente technische Systeme

Die Hochschule Kaiserslautern konzentriert die Themen Energie- und Ressourceneffizienz im Forschungsschwerpunkt Hocheffiziente technische Systeme (HTS). 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 erforschen und zu optimieren. HTS ist an der „Zukunftsstrategie Forschung und Innovation“ der Bundesregierung ausgerichtet und konzentriert sich auf die Erarbeitung von Lösungen in den Bereichen Ressourceneffizienz, Klimaschutz, Gesundheit sowie Digitalisierung. Die Projekte innerhalb des Forschungsschwerpunkts weisen eine große Anwendungsnähe 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 (Prof. Dr.-Ing. Sven Urschel) ist ein wesentlicher Forschungsgegenstand die Verbesserung der Energie- und Ressourceneffizienz elektrischer Antriebe, die beispielsweise zum Betrieb von Pumpen, Lüftern oder als Motor in Elektroautos zum Einsatz kommen. Elektrische Antriebe sind Massenware, ihr Anteil am weltweiten Stromverbrauch liegt bei beträchtlichen 40 %. Durch Technologie- und Materialinnovationen, aber auch durch den Einsatz künstlicher Intelligenz konnten die Forscherinnen und Forscher in verschiedenen öffentlich geförderten Verbundprojekten eine signifikante Senkung von Energiebedarf und/oder Ressourceneinsatz erreichen:

Im Projekt „HYDRESS“ (Entwicklung neuer Konzepte für hydromechatronische Aggregate zur signifikanten Erhöhung der Ressourceneffizienz) wurden vor dem Hintergrund Energieeffizienz, Ressourcenminimierung und Reduzierung kritischer Werkstoffe im Bereich der Pumpentechnologie für Klima- und Trinkwassersysteme neue Wege beschritten und Innovationen vorgebracht. In dem BMBF-Verbundprojekt wurden durch das Zusammenspiel und die synergetische Nutzung der unterschiedlichen Kompetenzen der Projektpartner neue Konzepte für energie- und ressourceneffiziente Umwälzpumpen entwickelt. Dies wurde erreicht durch neue Aufbaukonzepte sowie den Einsatz neuartiger Werkstoffe und Fertigungstechnologien, um die Hauptkomponenten Elektromotor und Pumpenaggregat zu optimieren.

Im BMBF-Projekt „DIAdEM“ (Betriebsdaten basierte Diagnose rotierender Maschinen für einen nachhaltigen, zuverlässigen und hocheffizienten Betrieb) wurden zur betriebsbegleitenden Beurteilung von Elektromotoren und deren rotierenden Arbeitsmaschinen (Pumpen, Lüfter, Kompressoren) Algorithmen entwickelt, die auf Basis standardmäßig verbauter Sensorik non-invasiv Aussagen über den Betriebszustand 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 können die Verfahren allein aus den elektrischen Größen des Motors (Strom und Spannung) auf den Zustand von Elektromotor, Arbeitsmaschine und

Anlage schließen. Hierzu wurden reale und virtuelle Sensordaten mit Methoden des Data Mining und Knowledge Discovery from Data analysiert und Algorithmen entwickelt, die ein umfassendes Energie- und Healthmonitoring der Aggregate erlauben.

Dem BMBF-Projekt „ORSYGET“ (Entwicklung optimierter Regelungen hydraulischer Systeme in der Gebäudetechnik zur Steigerung der Energieeffizienz von Heizungs- und Klimatisierungssystemen) lag die Prämisse zugrunde, die Wärme und Kälte in Gebäuden bedarfsgerecht und möglichst effizient bereitzustellen und zu verteilen. Dabei lag 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 Energieeinsparpotenziale ausschöpfen. Ansatzpunkte für die Optimierung des Gesamtsystems ergaben sich in diesem Vorhaben in folgende Richtungen: 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.

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 Mittelspannungsniveau. 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.

Ein hochschulintern gefördertes Vorhaben untersucht in diesem Zusammenhang das Verhalten supraleitender Kabel im Bereich der kritischen Stromstärke.

Forschungsschwerpunkt Sustainable Materials, Products and Processes (STAMP)

Die Frage nach der Nachhaltigkeit unserer Art des Wirtschaftens und damit insbesondere der Entwicklung und Anwendung von nachhaltigen Materialien, Produkten und Prozessen ist eine Schlüsselfrage des 21. Jahrhunderts.

Ein Arbeitsschwerpunkt von STAMP ist dabei die klimagerechte Konversion von Stadtquartieren. Die Arbeitsgruppe von Prof. Dipl.-Ing. Rolo Fütterer ist mit einem Teilprojekt am Verbundvorhaben EnStadtPfaff beteiligt. Das Ziel dieses Leuchtturmprojektes ist es, am Beispiel des Pfaff-Quartiers zu demonstrieren, wie eine klimaneutrale Energieversorgung eines Quartiers bei hoher städtebaulicher Qualität erreicht werden kann. Dabei soll ein möglichst hoher Anteil des Energiebedarfs vor Ort durch erneuerbare Energie erzeugt werden. Im Rahmen des Projektes werden Technologien entwickelt und erprobt und vorhandenen Technologien optimal kombiniert und effizient eingesetzt. Bausteine des klimaneutralen Quartiers sind energieeffiziente Gebäude, die Nutzung erneuerbarer Energien, intelligente Netze, der Einsatz von Batterie- und Wärmespeichern, effiziente und intelligente Mobilitätslösungen und eine umfassende Digitalisierung. Eine digitale Quartiersplattform vernetzt alle Komponenten, ermöglicht ein intelligentes Quartiers-Energiemanagement. Das Projekt ist als Reallabor gestaltet und wird im Rahmen der gemeinsamen Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gemeinsam gefördert.

Nachwuchsförderung

Mit dem 2015 von Prof. Dr.-Ing. Matthias Hampel initiierten und seitdem jährlich durchgeführten Wettbewerb „Lautrer Solar Power Competition“ werden Schülerinnen und Schüler spielerisch an Technologien und Anwendungen rund um die Solarenergie herangeführt. Der Wettbewerb wird gefördert durch das MWG und durch Preisgelder des VDE unterstützt.

In-Institut "Energieeffiziente Systeme (IES)" des Fachbereichs Angewandte Ingenieurwissenschaften

Im In-Institut IES unter der Leitung von Professor Dr.-Ing. Hartmut Opperskalski wird Wasserstoff als Energieträger für stationäre und mobile Lösungen untersucht.

Vor dem Hintergrund, dass der Stromtransport von regenerativen Energien zur Herstellung von grünem Wasserstoff durch Elektrolyse von Durchleitungsentgelten befreit ist, soll zunächst untersucht werden, ob die überschüssige Energie alternativ zur Einspeisung in grünem Wasserstoff gespeichert werden kann. Hierzu werden in der **1. Phase** alle Life-Daten und Historie-Daten der PV-Anlagen analysiert, um zu einer Auslegung des Elektrolyseurs zu kommen. In

der **2. Phase** soll untersucht werden, wie der gewonnene Wasserstoff in den sonnenschwachen Wintermonaten zugeschnitten auf die Verbrauchscharakteristiken des Betreibers rückverstromt werden kann oder ob eine Einspeisung in das Gasnetz eine Alternative darstellt. **Phase 3** umfasst die technische Planung einer Elektrolyseanlage.

Das Projekt ist derzeit noch nicht gefördert. Eine Förderung soll in Phase 3 ins Auge gefasst werden. Wunsch des beteiligten Unternehmens ist es, mit dem eventuellen Bau des ersten Elektrolyseurs in Kaiserslautern ein Fackelprojekt zum Thema Energiewende zu realisieren.

Hochschule Koblenz:

Vorbemerkung

Nachhaltiges Handeln, der sorgsame und effiziente Umgang mit Energie und weiteren Ressourcen, sind von zentraler Bedeutung für die Hochschule Koblenz (HS KO). Dies wird u.a. daran deutlich, dass dem Thema Nachhaltigkeit im Hochschulentwicklungsplan der HS KO von 2019 für alle Bereiche des hochschulischen Lebens besondere Bedeutung zukommt.

Dies betrifft den effizienten Umgang mit Ressourcen, d.h. die sparsame und umweltgerechte Nutzung von Energie, Wasser, Materialien und Flächen, aber auch die Reduzierung vermeidbarer Abfälle und erstreckt sich bis hin zur Beschaffung von umweltfreundlichen Produkten. Im Zuge von baulichen Maßnahmen werden energetische und ökologische Aspekte immer mitgedacht. Die Beförderung nachhaltigen Handelns soll und muss ihren Niederschlag aber auch immer stärker in den Bereichen Lehre, Forschung und Transfer wie auch beim Hochschulmanagement und in der -verwaltung finden.

Hier geht es nicht nur um den schonenden und nachhaltigen Umgang mit Ressourcen durch die Hochschule und ihre Verantwortung als Einrichtung des öffentlichen Lebens. Mit Blick auf Lehre und Forschung müssen selbstverständlich auch Klimaschutz und der Ressourcenverbrauch von der regionalen bis hin zur globalen Ebene deutlich stärker mitgedacht werden als bislang. Neben Themengebieten wie etwa dem „Nachhaltigen Bauen“ oder dem Lehr- und Forschungsschwerpunkt zur Stärkung des ländlichen Raums ist die Hochschule in der Region institutionenübergreifend im Bereich der Gewässerkunde mit ihrer anwendungsorientierten akademischen Expertise aktiv (Partner sind u.a. die Universität Koblenz und das Bundesamt für Gewässerkunde (BfG)).

Studiengänge

Studiengänge der HS KO, die sich thematisch im Berichtszeitraum mit „Energie“ beschäftigen:

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

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: 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: EFRE-Interreg am Oberrhein

Maßnahmen und Initiativen

Liegenschaften

a) Liegenschaften: Energieeinsparungen und kontinuierliche Optimierung

Besonders beim energieintensiven Bereich der Liegenschaften hat die HS KO in den letzten Jahren darauf geachtet, an ihren drei Standorten sparsam und energieeffizient zu agieren.

Die Planungen zwischen der Hochschule und dem LBB und deren Energie Competence Center weiter vorangeschritten, ein Contracting mit einem externen Anbieter zu befördern, das nicht nur die Neubewertung der Gebäudehülle zur Folge hat, sondern auch die Installation einer Fotovoltaikanlage sowie die Modernisierung aller raumluftechnischen Anlagen. Die Kolleginnen und Kollegen in der Haustechnik und Hausverwaltung der HS KO sind hier in engem Austausch mit dem fachlichen Ansprechpartner des Competence Center Energiemanagement beim LBB:

<https://www.kompetenzzentrum-contracting.de/modellvorhaben/teilnehmer-des-modellvorhabens/rheinland-pfalz/>

Geplant ist hier, sowohl auf kurze als auch mittelfristige Sicht, die Gebäude an den Standorten nachhaltig mit Energie zu versorgen.² Hierfür ist die geplante Errichtung von Fotovoltaik-Anlagen auf den Dächern an allen drei Standorten ein Beispiel. Weiterhin ist der Einbau von Blockheizkraftwerken in Koblenz und Remagen und der Ersatz aller Heizungspumpen durch neue Energiesparpumpen am RAC in Planung.

RheinAhrCampus (Remagen)

Wenn man etwa die Energieverbräuche von 2020 und 2021 miteinander vergleicht, so lassen sich für den Stromverbrauch etwa Einsparungen konstatieren wie auch beim Trinkwasser oder dem Verbrauch von Recyclingpapier. Diese Effekte stehen allerdings auch in Verbindung mit den Lockdown-Phasen aufgrund der Corona-Pandemie.

Die Verbräuche und Einsparungen in einigen Bereichen stellen sich in den einzelnen Energieträgern am RheinAhrCampus folgendermaßen dar (vgl. auch die Daten im Bereich "Umweltinformationen": <https://www.hs-koblenz.de/hochschule/organisation/zentrale-einrichtungen/verwaltung/hausverwaltung-haustechnik/rheinahrcampus/energieausweis-umweltinformationen>):

RheinMoselCampus (Koblenz)

Im Berichtszeitraum wurde u.a. die Beleuchtung (herkömmliche Röhrensysteme) in den Treppenhäusern und der Bibliothek des zweiten Bauabschnitts sowie im Foyer des ersten Bauabschnitts in Koblenz im Auftrag des LBB ausgetauscht und durch hochwertige und langlebige sparsamere LED-Beleuchtung ersetzt. Ergebnis dieser Maßnahme ist die Verbesserung der Ressourceneffizienz. Zudem wurden in den vergangenen Jahren durch entsprechende bauliche Instandhaltungsmaßnahmen beim Energieverbrauch Reduzierungen erreicht.

Maßnahmen und Projekte

a) E-Auto an der Laterne in Rekordtempo laden: Hochschule Koblenz meldet Patent für innovativen Ansatz an

(30. Juni 2021) Die Verbreitung der E-Mobilität schreitet weiter voran: Bei jedem dritten in Deutschland 2021 bislang neu zugelassenen Fahrzeug handelte es sich entweder um ein Hybrid- oder ein rein elektrisches Fahrzeug. Ladestationen für die E-Autos sind aber vielerorts noch Mangelware. Die HS KO forscht daher bereits seit 2018 – gemeinsam mit der Energieversorgung Mittelrhein (evm) – an einer praktischen Lösung für das Problem, nämlich Straßenlaternen als Ladepunkt für Elektrofahrzeuge zu nutzen. Gemeinsam verfolgen beide das Ziel, die Elektromobilität dank neuer Ladeinfrastruktur-Technologie voran zu bringen. Nun

² Im März 2022 wurde der Contracting-Vertrag für die HS KO unterzeichnet: <https://lbb.rlp.de/de/service/pressemitteilungen/detail/news/News/detail/energiespar-contracting-fuer-hochschule-koblenz-unterzeichnet/>

wurde das Patent für eine innovative schnelle Lademöglichkeit angemeldet, erste Einsätze von Prototypen in Remagen und Koblenz sind in Planung.

Die Zahl der E-Fahrzeuge in Deutschland wächst rasant und doch finden etwa 80 Prozent der Ladevorgänge im privaten Umfeld statt. Im städtischen, oft eng bebauten Raum ist es oftmals eine Herausforderung, wenn die eigene Garage mit Stromanschluss fehlt. Warum also nicht die bereits vorhandene Infrastruktur nutzen und Straßenlaternen technisch so erweitern, so dass diese nicht nur zur Beleuchtung von Bürgersteig und Fahrbahn dienen, sondern auch zum Laden der E-Fahrzeuge genutzt werden können? Diese Idee ist nicht neu und wird bereits in verschiedenen Städten von privaten Unternehmen angeboten. Doch bislang ist die Ladeleistung dabei sehr gering, sie erreicht nur 2.3 kW in der Standard-Ausführung und 11 kW in der erweiterten Version. Der Projektleiter Prof. Dr. Johannes Stolz aus dem Fachbereich Ingenieurwesen der HS KO hat diesen bestehenden Ansatz erweitert, im Laborversuch praktisch nachgewiesen und zum Patent angemeldet. Mit dem entwickelten Prototyp können Ladegeschwindigkeiten erreicht werden, die bislang nur Schnell-Ladesäulen bieten können.

Bereits 2019 hatte das Team aus Vertreterinnen und Vertretern von Hochschule und evm einen ersten Prototypen vorgestellt. Durch die neue Technik verkürzt sich die Ladezeit deutlich. So lädt man mit jeder Minute Ladezeit in etwa drei Kilometer an Reichweite auf. D.h., für die volle Aufladung eines Wagens, fallen je nach Modell unterschiedlich, knapp zwei Stunden an.

Die Koblenzer Forscher verfolgten bei ihrer Innovation den Ansatz, bereits vorhandene Komponenten zu nutzen und mit möglichst wenig Aufwand die vorhandenen Laternen als Ladesäulen zu nutzen. Mit dem so entwickelten Verfahren können nicht nur die Ladeleistung gesteigert, sondern auch die Kosten gegenüber einem konventionellen Ausbau um etwa 30 Prozent reduziert werden. Die Ergebnisse der Forschung zeigen, dass die Ladeleistung für einen kompletten Straßenzug von 102 kW dauerhaft und 145 kW für eine Stunde erreicht werden kann. Damit können im Stadtgebiet stehende Laternen zum Laden von E-Autos genutzt werden – nach einer Aufrüstung mit zusätzlichen Anbau- oder Nebenbauschränken, an denen dann die Ladestation montiert werden kann.

Bzgl. möglicher Standorte für den Einsatz von Prototypen ist man mit den Verantwortlichen sowohl in Koblenz, als auch in Remagen, im Gespräch.

Grenzüberschreitendes klimaresilientes Wassermanagement: Jordanische Studierende zu Gast an der Hochschule Koblenz – Gegenbesuch in Amman

(Dezember 2021) Seit vielen Jahren unterhält die HS KO einen intensiven akademischen Austausch mit zwei jordanischen Partnerhochschulen in Amman, mit denen sie länderübergreifend gemeinsame Projekte vorantreibt. 27 Studierende und Lehrende von der Deutsch-jordanischen Universität sowie der Al-Balqa' Applied University in Amman waren im Rahmen eines kooperativen Seminars zum Thema "Climate-resilient Cities" zu Gast an der Hochschule. Bei ihrem einwöchigen Aufenthalt beschäftigten sie sich mit klimaresilientem Wassermanagement sowie mit nachhaltiger Mobilität und nachhaltigem Bauen. Anschließend unternahmen Studierende und Lehrende der HS KO einen Gegenbesuch in Jordanien. Gefördert wurden die Aufenthalte aus Mitteln des DAAD.

Bei ihrem Besuch in Deutschland erkundeten die jordanischen Studierenden mit Professorinnen und Professoren aus Deutschland und Jordanien aus den Fachrichtungen Architektur, Bauingenieurwesen, Umweltingenieurwesen und Verfahrenstechnik sowie Maschinenbau mit dem Schwerpunkt Erneuerbare Energien in Koblenz u. a. die Stadt und informierten sich über Verkehrsinfrastrukturen und nachhaltige Stadtentwicklung mit Blick auf den ÖPNV.

Im Ahrtal konnte sich die Studierenden aus Jordanien ein Bild vom Ausmaß der Zerstörung machen. Die Gäste informierten sich über die Hintergründe der Flutkatastrophe und diskutierten in diesem Zusammenhang über Hochwasserrisikomanagement und mögliche Minderungsmaßnahmen. Eine weitere Exkursion führte die Gruppe nach Köln, wo sie gemeinsam mit Prof. Jo Ruoff unter anderem autofreie Viertel, das Clouth Quartier und die historische Altstadt besichtigten.

Drei Wochen nach dem Besuch der Jordanier an der HS KO folgte der Gegenbesuch der Koblenzer Studierenden in Jordanien. Bei einem einwöchigen Aufenthalt in einem der Länder mit den knappsten Wasserressourcen weltweit beschäftigten sich die Bauingenieure der HS KO mit klimaresilienter Stadtentwicklung.

Nachdem in Vorträgen an der German-Jordanien-University und der Al-Balqa Applied University Themen wie Wasserknappheit, Wasserversorgung und -management sowie Mobilität in Jordanien erläutert wurden, wurden diese anhand von Exkursionen für die Studierenden vor Ort erlebbar. Ein Beispiel für die Nutzung erneuerbarer Energien ist der Hauptcampus der German-Jordanian-University, der ebenfalls besichtigt wurde. Dieser wird mit eigenproduziertem Solarstrom versorgt.

Ein weiteres besuchtes Projekt an der Al-Balqa-University ist die dezentrale Behandlung und Aufbereitung von Abwässern, die Wiederverwendung des Wassers für Bewässerung und die damit verbundene Bedarfsreduzierung konventioneller Wasserressourcen. Die unterschiedlichen Modelle von der Kleinkläranlage bis zur Pflanzenkläranlage sind im Rahmen eines deutsch-jordanischen Forschungsprojekts errichtet worden und haben 2018 den Deutschen Umweltpreis der Deutschen Bundesstiftung Umwelt erhalten.

Schlamm und Wasser in der Bohrmaschine – das Repair-Café der Hochschule Koblenz vor Ort an der Ahr

Von der Stichsäge bis zur Waschmaschine – die Flutwelle in der Ahrregion hat auch viele Elektrogeräte betroffen, die aber vielleicht noch zu retten sind, d.h., die sich zerlegen, säubern, prüfen und danach wieder fit für den Weiterbetrieb machen lassen. Mit diesem Ziel hat das Repair-Café der HS KO im August und September 2021 Station in der betroffenen Region (u.a. in Antweiler, Bad-Neuenahr) gemacht und ist auf sehr große Resonanz vor Ort getroffen. Die freiwilligen Helfer des Repair-Cafés, organisiert von der Amateurfunkgruppe K32 der HS KO und der VDE Hochschulgruppe Koblenz sowie unterstützt durch Helfer vom Repair-Café Kalt und Repair-Café Lahnstein, kümmerten sich vor Ort um defekte Elektrogeräte.

Der Initiator Prof. Dr. Johannes Stolz vom Fachbereich Ingenieurwesen, der das Repair-Café leitet und auch Studierende der Elektrotechnik der Hochschule für den Einsatz hatte begeistern können, betonte, dass nach der Katastrophe zahllose Elektro-Handwerkzeuge oder auch

Basis-Elektrogeräte wie Waschmaschinen für den Wiederaufbau gebraucht werden. Die Helfer aus Koblenz und der Region hatten also alle Hände voll zu tun und waren hoch motiviert.

Schubkarrenweise und mit Traktoren kamen die Geräte, mit Wasser und Schlamm im Gehäuse funktionsunfähig, bei den Helferinnen und Helfern an. Nach entsprechender Reinigung und Instandsetzung, wurden die Geräte einem abschließenden Test nach der Sicherheitsprüfung DGUV V3 durch eine Elektrofachkraft unterzogen und konnten in den elektrischen Weiterbetrieb gehen.

Mit Blick auf die Nutzung hob Prof. Stolz hervor, dass man ein Gerät zehnmals reparieren, aber nur einmal wegwerfen, könne. Neben dem Geld, dass für den Wiederaufbau im und am Gebäude dringender gebraucht werde, konnte so auch unnötiger Elektroschrott verhindert und den Betroffenen vor Ort schnell und unkompliziert im Rahmen der Termine des Repair-Cafés geholfen werden.

b) Digitalisierung von Verwaltungsprozessen

Im Zuge der Digitalisierung von administrativen Prozessen an der HS KO wird ebenfalls auf den Aspekt der Ressourcenschonung geachtet. Weitere niedrigschwellige, aber durchaus effektive Maßnahmen einer verantwortungsvollen Nutzung der Ressourcen, wie etwa das Einsparen von Papier, wurden im Berichtszeitraum vorangetrieben, wie auch die Mitarbeitenden der Hochschule für einen sorgsamen Umgang mit Ressourcen sensibilisiert wurden.

Hochschule Mainz:

Forschungsschwerpunkte an der HS Mainz mit Bezug zum Thema Energie

Aktueller Forschungsschwerpunkt „Digitale Planung und Fertigung“:

Im Mittelpunkt des Forschungsbereiches Digitale Planung und Fertigung steht die Idee einer intelligenten, vernetzten und nachhaltigen Projekt- und Gebäudeplanung vom Entwurf über die Realisierung bis hin zum Gebäudebetrieb. Innovative und forschungsrelevante digitale Bausteine im Bereich Planung sind u.a. parametrisches und objektorientiertes Modellieren für die Entwicklung neuer und leistungsfähiger Design-Methoden, Building Information Modeling (BIM) als kooperative Arbeitsmethodik, Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) als erweiterte Planungs- und Montagetools. Der Einsatz von 3D-Druck und Robotern ermöglicht die kostengünstige Fertigung und Montage stark individualisierter und hochkomplexer Planungslösungen mit neuen innovativen, intelligenten Materialien und Werkstücken, neuen Fügungs- und Konstruktionsprinzipien im großen Maßstab im gesamten Bereich des produzierenden Baugewerbes. Eine stetige digitale Prozesskette ermöglicht hier eine medienbruchfreie Lösungsstrategie zur Umsetzung der digitalen Transformation des Bauwesens.

Zu dem Bereich gehören auch die Erprobung und der verbesserte Einsatz von nachhaltigen Materialien.

Einrichtungen und Institute:

- RoboLab,
- Institut für innovative Structures (iS-Mainz),
- Architekturinstitut (AI Mainz),
- Synergien mit dem i3Mainz

Aktueller Forschungsschwerpunkt „Innovative Anwendungen und Technologien in Wirtschaft und Gesellschaft“

Digitale Technologien führen zu großen disruptiven Veränderungen in der Wirtschaft, in öffentlichen Institutionen sowie in der Zivilgesellschaft. Digitale Werkzeuge werden immer leistungsfähiger und sind häufig kostengünstig verfügbar. Sie ermöglichen vielfältige Chancen, auch im Bereich der Energieeinsparung: etwa durch effizientere Wertschöpfungsketten, durch den Einsatz innovativer Technologien wie Big Data Verfahren oder Augmented und Virtual Reality (AR/VR)-Anwendungen, wie auch durch die Entwicklung von Strategien zur Identifikation und Einführung neuer Technologien für einen erfolgreichen Einsatz digitaler Innovationen, z.B. für künstliche Intelligenz.

Fachgruppen aus dem Fachbereich Wirtschaft:

- Wirtschaftsinformatik
- Materialwirtschaft, Produktion und Logistik

Institute aus dem Fachbereich Technik:

- i3Mainz (hier v.a. der Bereich KI)
- IREC (Institute of Real Estate and Construction Management Mainz)

Projekte an der Hochschule Mainz zum Thema Energie, 2020-2021

Projekt KoSEV (Kontaktstoßsanierung mit Epoxidharz-Verbundwerkstoffen)

- Laufzeit: 2019-2021
- Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Programm: Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)
- Projektpartner: Institute of Innovative Structures (iS-mainz, HS Mainz), Dächer von Groß GmbH, muro Bauprodukte GmbH

Gegenstand des Vorhabens ist die Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zur Sanierung von Holzbalkenkonstruktionen mit Epoxidharz-Verbundwerkstoffen im Bestand. Dabei sollen

durch möglichst geringen Rückbauaufwand geschädigte Holzteile ohne Tragfähigkeitsverlust ersetzt werden. Das System ist vor allem auch bei stark eingeschränktem Arbeitsraum effizient anwendbar und verkürzt durch die Vermeidung von aufwändigen Entkernungsarbeiten die Sanierungszeit erheblich.

Bezug zu Energie: Aufwertung von Holz als tragendes Baumaterial

Projekt Stoffliche Nutzung von Eichenschwachholz

- Laufzeit: 2019-2023
- Gefördert durch die Ministerien für Ernährung und Landwirtschaft sowie Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, sowie die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Waldklimafonds)
- Projektpartner: Hochschule Trier, iS-mainz HS Mainz, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz

Der ökologische Waldumbau führt zu einem steigenden Laubholzangebot. Innovative und neue Laubholzprodukte sind da gefragt, denn eine verstärkte stoffliche Verwendung sorgt für eine Erhöhung des Holzproduktspeichers, für eine CO₂-Minderung und Substitution durch Holzprodukte. In der Projektlaufzeit entwickeln und erproben die Projektpartner eine neue Prozesskette, bei der, ausgehend vom vorrätigen Holz, die Konstruktion von Bauwerken flexibel an das jeweilige Holzangebot angepasst wird. Am Ende des Projektes sollen die Weichen zur Verwendung von Eichenschwachholz für eine höherwertige Nutzung im Bausektor gestellt sein, um diese bislang stofflich kaum genutzten und problematischen Rohholzsortimente einer mehrstufigen Kaskadennutzung zuzuführen.

Bambusforschung am iS-mainz (seit 2020, ongoing)

Am iS-Mainz wird kontinuierlich zum Werkstoff Bambus geforscht: Um die Vielfalt der Konstruktionswerkstoffe in der Bauwirtschaft zu erhöhen, untersuchen Bauingenieure und Innenarchitekten der Hochschule Mainz zusammen mit Smart Gras Bicycles den Werkstoff Bambus gestalterisch, technisch und experimentell. Die Spanne reicht dabei von hochleistungsfähigen Faser-Composite-Baustoffen für stabförmige und massive Konstruktionen über neuartige homogene Fügungstechniken mit Bioadhesiven bis hin zur Entwicklung von neuartigen Fahrradtragwerken aus Bambus. Die Forschung findet in enger Zusammenarbeit mit Studierenden beider Fachrichtungen statt.

Projekt Optimierte modulare Bauweise von Windenergieanlagen

- Laufzeit: 2018 – 2021
- Gefördert durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, ko-finanziert durch das Ministerium für Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur Rheinland-Pfalz
- Projektpartner: iS-mainz der Hochschule Mainz, Ruhr-Universität Bochum, in Zusammenarbeit mit der Tubularis GmbH Bad Neuenahr (Promotionsvorhaben, InnoProm)

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 schritthalten zu können. An der Hochschule Mainz wurde daher im Rahmen von InnoProm zum Torsionstragverhalten vorgespannter Segmenttürme geforscht.

Der Promovend Lutz Loh entwickelte dabei ein Nachweisverfahren für unter Torsion und Biegung stehende Segmentfugen auf Grundlage der Theorie der Wölbkrafttorsion. Diese Theorie wurde bisher meist im Stahlbau angewandt. Eine Anwendung im Massivbau, bzw. für Fugenkonstruktionen, ist derzeit einmalig.

Projekt SMARTTOM: Low Cost Energie Monitoring zur Verbesserung der Energieeffizienz von Bestandsgebäuden (ongoing, seit 2016)

Im Zuge eines Forschungsauftrags der Verbandsgemeinde Grünstadt in der Pfalz hat sich das Energielabor der Hochschule Mainz mit der Frage beschäftigt, wie Wärmeerzeuger in Liegenschaften analysiert und optimiert werden können. Laut Verbraucherzentrale Hessen sind derzeit ca. 80 Prozent der Heizungsanlagen falsch eingestellt und verbrauchen zu viel Energie.

Dieser hohe Energieverbrauch stellt nicht nur einen hohen Kostenfaktor, sondern auch eine erhöhte Belastung für die Umwelt dar. Daher ist ein Energiemonitoring in der heutigen Zeit gerade für große Liegenschaften unerlässlich und sollte im besten Falle dauerhaft stattfinden.

Temporäres Energiemonitoring beziehungsweise sogenannte Heizungs-EKGs können die Temperaturen von Wärmeerzeugern in einem bestimmten Zeitraum aufnehmen und visualisieren und eine Grundlage der Optimierung liefern. Ein fest installiertes System, das die Daten dauerhaft aufnimmt und analysiert, liefert jedoch eine sehr viel bessere und genauere Basis um das energetische Einsparungspotenzial aufzuzeigen. Wichtig für die Optimierung der Heizung sind vor allem die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur und die gewünschte Solltemperatur des beheizten Raumes. Nimmt man diese Daten auf und wertet sie aus, kann man anhand der Analyse erkennen, ob die Heizung adäquat eingestellt oder noch Optimierungspotenzial im Hinblick auf die Effizienz vorhanden ist.

Projekt Nutzungskostenberechnung für den Staatsbau (Forschungsprojekt mit dem LBB, seit 2015, aktuell bis 2023)

Das Forschungsprojekt zur Nutzen-Kosten-Simulation mit den Projektpartnern Hochschule Mainz und LBB hat das Ziel, ein Berechnungsmodell der Lebenszykluskosten, Energieeffizienz und Umweltwirkung für Gebäude monetär in Anlehnung an die DIN-Norm Nutzungskosten von Hochbauten (DIN 18960 2020-11) zu entwickeln.

Hierbei handelt es sich bei dem Forschungsprojekt um ein auf den LBB zugeschnittenes Modell zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz und Umweltwirkung von Baumaßnahmen bei Neubauten oder Bestandsgebäude (gegebenenfalls auch Denkmälern). Die Ausführungsart einzelner Bauteile wird vom Projektstart berücksichtigt. Die Berechnungstiefe steht beim LBB in Abhängigkeit zur Planungstiefe der Haushaltsunterlage Bau (HU-Bau) und findet planungsbegleitend mit zunehmenden Detaillierungsgrad (Schärfegrad) statt. Die Forderung nach Bauteilorientierung stellt eine Besonderheit in Deutschland dar, die besondere Chancen zur Ökobilanzierung bietet, da auch die Komponenten der Bauteile mit ihren individuellen Lebensdauern und Stoffbilanzen berücksichtigt werden können. So können bei Investitionen in Neubauten und vorhandenen Bestandsgebäude auch CO₂-Emissionen und die Energieeffizienz nach der Portfoliostrategie des Landesbetriebs für Liegenschafts- und Baubetreuung (LBB) des Landes Rheinland-Pfalz für lange Betrachtungszeiträume zielorientiert optimiert werden.

Das Ergebnis des Forschungsprojektes ermöglicht eine aktive, bauteilorientierte Nutzungskostenminimierung sowie eine Modernisierungs- und Instandhaltungsplanung für den Staatsbau. Ebenso ist eine Energie-/CO₂- und Wertmaximierung möglich. Die Möglichkeit, die Gebäudenutzung zu simulieren und Szenarien zu berechnen, runden das Bild ab.

Hochschule Trier:

Forschung, Technologie und Wissenstransfer im Bereich der

Energieforschung an der 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 2020 und 2021 erneut eine Auszeichnung beim „UI GreenMetric World University Ranking“ der Universitas Indonesia: Auch in diesen Jahren hat es der Umwelt-Campus Birkenfeld unter die weltweit zehn „grünsten“ Hochschulen geschafft. Weltweit belegte er in beiden Jahren Platz 6 und deutschlandweit Platz 1. 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. Dieses Engagement konnte 2021 mit der Einstellung eines Klimaschutzmanagers am Hauptcampus ausgebaut und unterstrichen werden.

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 hinaus 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 70 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. Das Angebotspektrum 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.

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.

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.

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.

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 Software) 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.

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 hö-

here 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.

Ausgewählte Projektbeispiele der Hochschule Trier im Berichtszeitraum 2020 – 2021

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 Energiesystemlösungen.

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.

ReFoPlan II - Weiterentwicklung des Umweltzeichen Blauer Engel für Software

Software hat, als Grundlagentechnologie des Internets, einen signifikanten Einfluss auf Energieverbrauch, -effizienz, die Nutzungsdauer von Hardware und dadurch den Energie- und Ressourcenverbrauch von IKT insgesamt. Aufbauend auf dem bestehen Blauen Engel für Softwareprodukte wurde im Folgeprojekt „Ressourceneffiziente Software - Weiterentwicklung des Umweltzeichen Blauer Engel für Software“ eine Vergabegrundlage für einen Blauen Engel für Client-Server Systeme und Mobile Anwendungen (Apps) entwickelt. Dies beinhaltet die Fokussierung auf geeignete Softwaretypen, die Entwicklung von Standardnutzungsszenarien und die Festlegung von Mindestanforderungen, die ressourceneffiziente Softwareprodukte beschreiben.

Im Rahmen des Projektes wurde (i) der Zeichengegenstand „Softwareprodukt“ eingegrenzt, sodass Vorschläge für zeichengeeignete Software-Produktgruppen, für Vergabekriterien und für Vorgehensweisen entwickelt werden können, (ii) Hersteller und Entwickler identifiziert, die sich für eine Zeichenvergabe interessieren und die Vorschläge erproben, (iii) Beschaffer hinsichtlich typischerweise beauftragten bzw. beschafften Softwareprodukten befragt.

Im Rahmen von Feldtests evaluieren Praxispartner die vorgeschlagenen Bewertungskriterien für ressourceneffiziente Software. Mit Unterstützung dieser werden insbesondere die für die Erfassung der Vergabekriterien notwendigen Standardnutzungsszenarien (weiter-)entwickelt. Die Ergebnisse des Feldtests werden in einem Praxisworkshop gemeinsam mit den Praxispartnern zusammengeführt. Durch den frühzeitigen Einbezug von Beschaffern und Praxispartnern wurde sichergestellt, eine Vergabegrundlage zu entwickeln, die sowohl den aktuellen Stand der Wissenschaft als auch die Anwendbarkeit in der Praxis repräsentiert.

Weitere Informationen zum Blauen Engel für Ressourcen- und energieeffiziente Softwareprodukte: <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/ressourcen-und-energieeffiziente-softwareprodukte>

Konsortium: Hochschule Trier (Umwelt-Campus Birkenfeld, Institut für Softwaresysteme), Öko-Institut e.V. Institut für angewandte Ökologie (Berlin), Laufzeit: September 2021 - November 2023, gefördert durch das Umweltbundesamt (UBA) im Programm Ressortforschungsplan II (ReFoPlan II)

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, Kompetenzzentrum Brennstoffzelle RLP), 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)

OekoProOf. Intelligente ökonomische & ökologische Ressourceneffizienzsteuerung mittels Digitalem Prozesspass im Kontext sektorübergreifender Anforderungen am Beispiel der abwärmeintensiven Oberflächentechnik

Sektorübergreifend stehen moderne Unternehmen und Einrichtungen heute hinsichtlich der Energie- und Ressourceneffizienz vor der Herausforderung unter Einhaltung

- a) der gesellschaftlichen Zielstellungen (Ressourcenschonung & Einsparungen CO₂),
- b) der ökologischen und sozialen Kundenwünsche (Nachhaltigkeitszertifizierung),
- c) der ökonomischen Kundenwünsche (Kosten/Nutzen) und

d) der eigenen ökonomischen Zielstellungen (Wettbewerbsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit) gesamtheitlich und zeitgleich auftragsgenau in Dienstleistungsvarianten aufzeigen können, welche Ressourceneffizienzen und -flexibilitäten sie realisieren können. Zentral ist es dabei unternehmerische Interessen, Kundenwünsche und gesellschaftliche Ziele zu vereinbaren. Häufig sind auch indirekte Ressourceneffizienzpotenziale gar nicht prozessgenau zurechenbar oder nur entlang von Produktlebenszyklen im Kreislauf erforscht.

Hier setzt das Projekt OekoProOf mit einem neuen Ansatz für das prozesszentrierte Gewerbe in der Kreislaufwirtschaft an. Ziel ist es ein sektorübergreifend einsetzbares IT-System zu entwickeln, welches Ressourcenverbräuche, Ressourceneffizienzen und damit einhergehende indirekte Nachhaltigkeitseffekte in der Kreislaufwirtschaft durch die Zuordnung zu Prozessen mittels eines Digitalen Prozesspasses transparent für einzelne Aufträge bestimmen kann und die Ressourceneffizienzen dadurch je nach unternehmerischer Zielsetzung und Kundenwunsch intelligent bedarfsgerecht steuerbar macht. Dies wird prototypisch bei reduzierter Komplexität unter Realisierung von Abwärme- & Stromeffizienzen im metallverarbeitenden Gewerbe verprobt.

Konsortium: Wegener Härtetechnik GmbH, Homburg; Kraftblock GmbH, Sulzbach; AWS-Institut für digitale Produkte und Prozesse gGmbH, Saarbrücken, Laufzeit: Januar 2022 - Dezember 2024, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

PSKW-Rio. Erarbeitung von Konzepten zur Standortoptimierung und Erweiterung des technischen Konzepts am Beispiel der Projektidee "PSKW-Rio"

Ziel des Gesamtprojekts ist es, zur CO₂-Reduzierung und Ressourceneinsparung in Rheinland-Pfalz beizutragen. Hierzu soll in einem Pilotprojekt ein technologisches Konzept am Beispiel des Pumpspeicherkraftwerks Rio erstellt werden, das gegenüber dem Stand der Technik zu einer Verminderung des Energie- bzw. des Ressourcenverbrauchs führt. Am Beispiel des PSKW-Rio sollen somit ein aktualisiertes technisches Konzept, eine Analyse der vorhandenen Netzinfrastruktur und eine Übersicht von möglichen Geschäftsmodellen erarbeitet sowie ergänzende Standort- und Infrastrukturkonzepte entwickelt werden, welche die vorhandenen Ressourcen optimal und effizient nutzen. Schließlich sollen die Auswirkungen der einzelnen

Ideen und des Gesamtkonzepts bezüglich der CO₂-Emission, Energie- und Ressourceneffizienz bewertet werden, um den möglichen Beitrag der strategischen Konzepte dieses Pilotprojekts zu den Klimaschutzzielen von Rheinland-Pfalz quantifizieren zu können.

Die hochdynamische Online-Funktionalität des geplanten Pumpspeicherkraftwerk PSKW-Rio ist aktuell einmalig im deutschen Kraftwerkspark und verdeutlicht den Innovationscharakter der Projektidee. Mit der erfolgreicheren Aktualisierung der technischen und betriebswirtschaftlichen Projektidee des PSKW-Rio in ein validiertes Gesamtkonzept, wird der Modellcharakter des Projekts für ähnliche Anwendungsszenarien verdeutlicht. Durch die ergänzenden Standort- und Infrastrukturkonzepte soll dies nochmal unterstrichen werden, mit der auch die Übertragbarkeit der Projektidee auf andere Standorte aufgezeigt werden. Damit tragen die Forschungen im Rahmen des Pilotprojekts PSKW-Rio dazu bei, neue Technologien praxisbezogen weiterzuentwickeln, um damit den intelligenten Einsatz erneuerbarer Energien sowie deren breiten Einsatz in Rheinland-Pfalz und darüber hinaus zu fördern. Damit gliedert sich das Vorhaben ideal in das Arbeitsfeld „energieeffiziente Systeme (EES)“ des Forschungsschwerpunkts „Intelligente Technologien für Nachhaltige Entwicklung“ der Hochschule Trier ein, in dem Fragestellungen zu nachhaltigen Energiesystemtechnologien im Zuge des Klimaschutzes bearbeitet werden.

Konsortium: Hochschule Trier (Institut für Betriebs- und Technologiemanagement (IBT), Umwelt-Campus Birkenfeld; Gebäude-, Versorgungs- und Energietechnik, Hauptcampus), Stadtwerke Trier, Laufzeit: Juli 2021 - Dezember 2022, Gefördert durch die Europäische Union aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) im Rahmen des Ziels „Investitionen in Wachstum und Beschäftigung“ (IWB) für die Förderperiode 2014-2020, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität des Landes Rheinland-Pfalz im Förderinhalt P3-SZ7-1 CO₂: Modellprojekte neue Technologien

ENERGE - Energizing Education to Reduce Greenhouse Gas Emissions

Die Reduktion klimaschädlicher Emissionen ist dringend geboten, um einen weiteren Anstieg der Jahresmitteltemperatur auf der Erde zu bremsen. Geeignete Methoden dazu sind die Einsparung von Wärme und Strom in Gebäuden. Gerade der überalterte Bestand öffentlicher Schulgebäude erfordert dringend technische Maßnahmen. Jedoch sind die finanziellen Mittel der öffentlichen Träger zur energetischen Sanierung der Schulgebäude begrenzt. Zusätzlich fehlen den ausführenden Firmen Fachkräfte zur Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen. Schnelle und preiswerte Lösungen müssen also entwickelt werden, mit denen innerhalb kürzester Zeit Energieeinsparungen erzielt werden können.

Das ENERGE-Projekt stellt einen neuen geringinvestiven, ganzheitlichen, anpassungsfähigen und multidisziplinären Ansatz dar, der Know-how aus Soziologie, Pädagogik und Kommunikation mit Technologie kombiniert. ENERGE wird in Schulen in Frankreich, Deutschland, Vereinigtem Königreich, Luxemburg, Irland und den Niederlanden entwickelt und getestet.

Strommessgeräte, die kontinuierlich Stromverbrauchsdaten für bestimmte Gebäudeteile (Gebäude, Flure, Aufenthalts- und Klassenräume) erheben sowie Sensoren, die die Behaglichkeit

(Temperatur, CO₂-Gehalt, Luftfeuchtigkeit, etc.) erfassen, sichern quantitative Daten zur energetischen Situation.

Zusätzlich werden in den teilnehmenden Schulen Schulkomitees gebildet, die miteinander vernetzt werden, um gemeinsam am Thema Energieeffizienz zu arbeiten und voneinander zu lernen. Auf einer Internetplattform werden Lösungen und Ansätze ausgetauscht und Anreize zu energiesparendem Verhalten initiiert.

Die FR Bauingenieurwesen strebt an das Projekt für die Ausbildung der Studierenden am Fachbereich zu nutzen. Damit sollen einerseits weitere, bisher nicht im EU-Projektantrag für den deutschen Partner weder inhaltlich noch finanziell abgebildete, Aktivitäten entfaltet werden, als auch Bewusstsein bei den Studierenden für die Potenziale anderer – eher pädagogische, soziologische und psychologische Ansätze – geschaffen werden. Eine Vertiefung soll u.a. mittels Studien- und Abschlussarbeiten im Rahmen des Projektes geschehen. Die Interaktion mit den Schulen soll dabei auch zur Gewinnung zukünftiger Studierender beitragen und das Bild der Hochschule als innovative Forschungseinrichtung in der Öffentlichkeit stärken (Projektlaufzeit von 2019 - 2023, Hochschule Trier erst seit 2022 Partner).

Konsortium: Hauptpartner: National University of Ireland Galway (Irland). Projektpartner: Centre-Val de Loire Region (Frankreich), Delft University of Technology (Niederlande), CAS-TeL Dublin City University (Irland), Universität Luxemburg (Luxemburg), R2M Solution LTD (Vereinigtes Königreich), LAVUE-CNRS (Frankreich), Hochschule Trier (Deutschland, Fachbereich Bauen + Leben), Laufzeit: Januar 2022 - Mai 2023, Gefördert durch: Europäische Union im Programm INTERREG Nordwesteuropa

Energetisches Quartierskonzept für Trier - Integriertes energetisches Quartierskonzept Trier-Innenstadt Südwest (EQTI)

In dem Forschungsvorhaben eines integrierten energetischen Quartierskonzepts wurden der Stadt Trier Entwicklungspfade zu einem weitgehend klimaneutralen Quartier "Trier Innenstadt-Südwest" aufgezeigt. Betrachtet wurde dabei, inwieweit die in der Bestandsaufnahme ermittelten Potenziale einerseits zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung genutzt werden können und andererseits der Restenergiebedarf mit einer regenerativen Strom- und Wärmeversorgung gedeckt werden kann (der Bereich Verkehr wurde aufgrund des Förderprogramms nicht mitberücksichtigt). Unter Berücksichtigung städtebaulicher Aspekte und der demografischen Entwicklungen wurde mit den Akteuren ein "Klimaschutz"-Szenario entwickelt, mit dem fast 60% klimaschädliche Emissionen im Jahr 2050 gegenüber 2020 (über 80% gegenüber 1990) eingespart werden können. Die größten Einsparpotenziale sind die Gebäudesanierung, die ca. 5.000 t CO₂/a einsparen könnte, der Ausbau der Solarenergie im Quartier, die je nach Technologie ca. 3.000 t CO₂/a einsparen könnte und der weitere Ausbau der mit Biomethan betriebenen Blockheizkraftwerke im Quartier samt eines flächendeckenden Nahwärmenetzes im Quartier. Hierdurch könnten weitere 18.000 t CO₂ pro Jahr eingespart werden. Diese Einsparungen sind für ein dicht bebautes Quartier mit einem hohen Anteil denkmalgeschützter Gebäude ein sehr gutes Ergebnis. Eine weitere Reduktion der Treibhausgase ist möglich, wenn das eingesetzte Biogas bzw. Biomethan aus den Biogasanlagen in der Eifel noch nach-

haltiger bereitgestellt wird. Das Forschungsvorhaben hat mit den Akteuren 15 konkrete Maßnahmenpakete erarbeitet, wie das Klimaschutz- Szenario für das Quartier konkret umgesetzt werden kann. Im Anschluss an das Forschungsvorhaben soll nun die Umsetzung des Nahwärmenetzes in der Innenstadt mit den Kooperationspartnern Stadtwerke Trier und der Stadt Trier erfolgen.

Das Forschungsvorhaben wurde unter aktiver Mitarbeit von 9 Masterstudierenden des Fachbereichs Bauen + Leben erarbeitet, die mit ihren Studienprojekten und Masterarbeiten wichtige Komponenten der Nahwärmenetze simuliert und dimensioniert haben.

Konsortium: Energieagentur Region Trier GmbH, ECOSCOP Gesellschaft für Umweltberatung, Kompetenzzentrum Solar der Hochschule Trier, Laufzeit: Januar 2020 - Februar 2021, gefördert durch die KfW Bank und das Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz im Förderprogramm 432 " Energetische Stadtsanierung" der KfW.

HWG Ludwigshafen:

Beitrag der Hochschule für Wirtschaft und Gesellschaft (HWG) Ludwigshafen

Verfasser: Prof. Dr. Johannes Kals (für Rückfragen: Johannes.Kals@hwg-lu.de) im Auftrag von Präsident Prof. Dr. Gunther Piller

Projekt „Wärmewende“ des IMI (Institut für Management und Information)

Mit dem Begriff der „Wärmewende“ wird die Umstellung der Wärmeversorgung von Gebäuden von der Nutzung fossiler Energiequellen auf erneuerbare Energien bezeichnet (BMW i 2021). Weiterhin geht es darum, weniger Wärme zu verschwenden, zum Beispiel durch effektivere Gebäudedämmung, der Austausch von Fenstern, die Installation einer Solarthermie-Anlage oder effizientere Heizungsanlagen. Basierend auf bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen wurde in dem empirischen Forschungsprojekt der Frage nachgegangen, mit welchen Instrumenten Eigenheimbesitzer sowie Wohnungseigentümergeinschaften (WEG) besser dabei unterstützt werden können, energetische Sanierungen in sinnvollem Umfang zu planen und vorzunehmen. Das Projekt formuliert eine „Kundenreise“ und untersucht die einzelnen Stationen aus der Sicht verschiedener Akteure. So lassen sich Hemmnisse und Potenziale identifizieren, um einen Beitrag zur Wärmewende zu leisten.

Laufzeit: 01.08.2021 – 31.12.2022, Fördermittelgeber Land Rheinland-Pfalz, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität

Projekt „Energieorientierte BWL“ als MOOC mit der Beijing Normal University, Peking, China, Prof. Dr. Johannes Kals

Während einer Gastprofessur an der Beijing Normal University wurde ein MOOC (Massiv Open Online Course) entwickelt, der im Berichtszeitraum auf einer chinesischen Lernplattform angeboten wird:

https://www.xuetangx.com/course/bnu08251000702intl/14799902?channel=home_course_ad

Der umfassende Ansatz einer „Energy-oriented Business Administration“ erklärt die Grundlagen der Energiebilanzierung in Unternehmen, die als Entscheidungsgrundlagen in Funktionen wie Logistik, Beschaffung und Produktion dienen. Neben Wirtschaftlichkeitsüberlegungen fließen auch ethische Aspekte in Entscheidungsfindung ein. Laufzeit über den gesamten Berichtszeitraum in verschiedenen Runden, Förderung durch die chinesische Seite.

TH Bingen:

Grüner Wasserstoff

Projekt: Fehlerdiagnosesystem für Brennstoffzellen

Brennstoffzellen, die mit grünem Wasserstoff betrieben werden, können einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors liefern. Brennstoffzellensysteme stellen besonders für schwere Nutzfahrzeuge einen attraktiven Ansatz dar, da dies hohe Anforderungen an die Reichweite stellen, die reine Batteriespeicher nicht erfüllen können. Während erste Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb bereits auf dem Markt sind, stehen ihrem breiten Einsatz derzeit noch zwei Hindernisse entgegen: Brennstoffzellen sind zum einen sehr teuer und zum anderen ist ihre Lebensdauer noch unbefriedigend. Im Rahmen eines Promotionsprojekts in Kooperation mit der TU Kaiserslautern (Prof. Ping Zhang) wird ein modellgestütztes Fehlerdiagnosesystem für Brennstoffzellen entwickelt. Dieses System soll entstehende Schäden rechtzeitig erkennen, so dass über die Betriebsführung geeignete Gegenmaßnahmen unternommen werden können. Dies soll zu einer verlängerten Lebensdauer und einer besseren Nutzung der Brennstoffzellensysteme beitragen.

Projektverantwortlich: Prof. Dr. Michael Mangold, TH Bingen

Finanzierung aus Hochschulmitteln / Mitteln der innovativen Hochschule

Energieforschung und Wissenstransfer

Energieforschung in Hochschulen und Universitäten

Studiengänge mit Schwerpunkt „Energie“:

Studienfach	Abschluss	Hochschulname	Studienort	Studientyp	Studienform
Elektrotechnik	Bachelor of Engineering	Technische Hochschule Bingen	Bingen	grundständig	Vollzeit und dual praxisintegrierend
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	Vollzeit und dual praxisintegrierend
Regenerative Energiewirtschaft und Versorgungstechnik	Bachelor of Science	Technische Hochschule Bingen	Bingen	grundständig	Vollzeit, dual praxisintegrierend, dual ausbildungsintegrierend
Umweltschutz	Bachelor of Science/Master of Science	Technische Hochschule Bingen	Bingen	grundständig	Vollzeit und dual praxisintegrierend
Klimaschutz und Klimaanpassung	Bachelor of Science	Technische Hochschule Bingen	Bingen	grundständig	Vollzeit und dual praxisintegrierend

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

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 seitdem 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 wird 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. An einem unterhalb des Tiny Houses eingebauten Eisspeicher werden die Potenziale von saisonalen thermischen Speichern untersucht.

Projektleitung: Prof. Dr. Martin Pudlik

Potenzial für Solarenergie im Bereich der Nahrungsmittelverarbeitung in Benin

Die Energieversorgung von Benin beruht zu ca. 49% auf Biomasse (v.a. Verbrennung von Holz), zu ca. 49% auf Erdöl sowie ca. 2% Elektrizität, die überwiegend aus Ghana und Nigeria importiert wird. Problematisch an dieser Versorgungsstruktur sind hohe Umweltschäden (z.B. geht Biomassennutzung auf Kosten der Savannen- und Waldflächen) und die hohe Importabhängigkeit. Erneuerbare Energien werden – im afrikanischen Vergleich – in Benin noch sehr wenig genutzt, wobei geographisch für Solarenergie relativ gute Bedingungen herrschen (bis ca. 2000 Sonnenstunden pro Jahr).

Das Projekt leistet einen Beitrag dazu, das Potenzial solarer Energie für den Bereich der Lebensmittelverarbeitung in Benin zu ermitteln und spezifische Hemmnisse zu identifizieren. Unterschiedliche Potenziale solarer Formen der Energieversorgung werden untersucht: Kühlung (z.B. Obst und Gemüse), Trocknung, Pasteurisation (z.B. Säfte), Mahlung (z.B. Getreide), Extraktion (z.B. Öle). Berücksichtigung finden Fotovoltaik, elektrochemische Speicherung, Solarthermie, solare Kühlung, thermische Speicherung. Die Projektergebnisse sollen dazu genutzt werden, ein exemplarisches Pilotprojekt für die Implementierung solarer Energie im Lebensmittelbereich zu planen.

Projektverantwortlich: Prof. Dr. Urban Weber

Projektmittel: 30.000,- Euro. **Fördermittelgeber:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (2021)

Verbundvorhaben: DiMA-Grids - Digitale Geschäftsmodelle mit selbstbestimmten Anwendern für smarte Verteilnetze

Teilvorhaben: Energiewirtschaftliche Systemmodellierung

Ziel des Vorhabens ist es, die bestehenden Ansätze zur Digitalisierung der Energiewende weiterzuentwickeln. Dazu werden sowohl eine stärkere Beteiligung und Aktivierung der Endkunden als auch eine flexiblere und automatisierte Steuerung der Verteilnetze im Rahmen des Vorhabens untersucht. Arbeitsziele innerhalb des Projektes sind digitale Geschäftsmodelle auf Basis von Plattformökonomien zu identifizieren und zu untersuchen, wie sie implementiert und umgesetzt werden können. Aufbauend auf diesen digitalen Geschäftsmodellen werden erfolgsversprechende Pfade für einen intelligenten Verteilnetzbetrieb entwickelt und mögliche Implementierungspfade aufgezeigt. Als innovativer Ansatz wird ein Disziplinen übergreifendes Vorgehen umgesetzt, um energiewirtschaftlich sinnvolle und umsetzbare Geschäftsmodelle zu entwickeln, die explizit Ansätze zu informationeller Selbstbestimmung umfassen. Darüber hinaus sollen ein dazu passendes Marktdesign und ein geeigneter regulatorischer Rahmen weiterentwickelt werden, die neben der technischen Umsetzung von besonderer Bedeutung sind.

Die entwickelten Lösungen sollen nach Ende des Vorhabens bei Netzbetreibern und Flexibilitätsanbietern zum Einsatz kommen. Für die Ergebnisse des Vorhabens ist folgende wirtschaftliche Verwertung geplant: Softwareentwicklung: Beispielgebende Erschließung neuer Marktteilnehmer, Entwicklung und Erprobung einer neuen Technologie Kommunikationstechnik mit LoRaWAN: Erprobung einer neuen Anwendungsmöglichkeit, Bestimmung der Einsatzgrenzen einer vielversprechenden Technologie. Entwicklung neuer Geschäftsmodelle zum smarten Verteilnetzbetrieb und zur Aktivierung von kleinteiligen Flexibilitäten mit selbstbestimmten Anwendern. Wirtschaftliche Verwertung der Forschungsergebnisse in zukünftigen Geschäftsmodellen zur Sektorkopplung und (regional) ausgerichteten energy-only Handelsmärkten.

Projektleitung: Prof. Dr. Martin Pudlik

Projektpartner: Fraunhofer ISI, Simon Process Engineering GmbH, Technische Werke Ludwigshafen u.a.

Projektmittel: 189.478 €. **Fördermittelgeber:** BMW. **Laufzeit:** 2021-2024

Wissenschaftliche Untersuchungen zur Entwicklung eines Modellkonzepts für naturverträgliche und biodiversitätsfördernde Solarparks

Der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien soll naturverträglich erfolgen. Auf diese Weise ist eine Aufhebung der Flächenkonkurrenzen zwischen Naturschutz und der Erzeugung erneuerbarer Energien möglich. Insbesondere bei Fotovoltaik-Freiflächenanlagen gibt es vielversprechende Ansatzpunkte im Hinblick auf die Förderung der Biodiversität (vgl. bne-Studie „Solarparks – Gewinne für die Biodiversität“, 2019). Es besteht jedoch Bedarf an konkreten Maßnahmenempfehlungen zur Förderung der Naturverträglichkeit und Biodiversität bei Einrichtung und Betrieb von Solarparks. Dazu wurde ein Leitfaden mit Maßnahmensteckbriefen erarbeitet. In verschiedenen Solarparks wurden praktische Untersuchungen zu Flora und

Fauna durchgeführt. Die Wirksamkeit der Maßnahmen sollte anhand eines wissenschaftlich fundierten Monitorings überprüft werden können.

Projektverantwortlich: Prof. Dr. Elke Hietel, Team Claudio Lenz

Projektpartner: UrStrom – BürgerEnergieGenossenschaft Mainz eG, Christoph Würzburger Landesnetzwerk BürgerEnergieGenossenschaften Rheinland-Pfalz e.V., Dr. Verena Ruppert

Projektmittel: 50.211 €. **Laufzeit:** 06/2020-05/2021

Erarbeitung eines integrierten Klimaschutzkonzepts und Etablierung eines Klimaschutz-managements für die Technische Hochschule Bingen

Die Technische Hochschule Bingen strebt an, Klimaneutralität gemäß dem Landesklimatechutzgesetz von Rheinland-Pfalz. Dieses Gesetz sieht die Vorbildfunktion der Hochschulen und formuliert das Ziel, sich bis zum Jahr 2030 in ihrer Gesamtbilanz klimaneutral zu organisieren. Die Hochschule möchte damit ihrer gesellschaftlichen Vorbildfunktion sowie ihrer Verantwortung im Rahmen des Ziels „Klimaneutrale Landesverwaltung Rheinland-Pfalz bis 2030“ des Landes Rheinland-Pfalz gerecht werden.

Das Klimaschutzkonzept der Technischen Hochschule Bingen identifiziert konkrete Treibhausgas (THG)-Reduktionspotenziale und dient als strategische Planungsgrundlage zur Erreichung von Klimaneutralität. Hierzu wurden in einem umfassenden Beteiligungsprozess die Energie- und Treibhausgasbilanz der Hochschule an ihren drei Standorten (Campus Budesheim, Hermann-Hoepke-Technikum und St. Wendelinhof) in den Bereichen Energie, Mobilität, Abfall, Wasser, Ernährung sowie Produkte (Beschaffung) erstellt. Potenziale zur Reduzierung des Energieverbrauchs und zur Vermeidung von Treibhausgasen wurden erarbeitet.

Für die Erstellung der Energie- und CO₂-Bilanz wurden die CO₂-Emissionen nach dem Verursacherprinzip erfasst. D.h., Energieverbrauch und CO₂-Emissionen, die durch die Aktivitäten sämtlicher Mitarbeitenden, Lehrenden sowie Studierenden im Zusammenhang mit ihrer Tätigkeit an der Hochschule verursacht werden, fließen in die Betrachtung mit ein.

Unter breiter Beteiligung von Hochschulangehörigen wurde ein umfassender Maßnahmenkatalog, bestehend aus 26 Einzelmaßnahmen, erarbeitet, welcher in den kommenden Jahren umgesetzt werden soll. Weiterhin wurden ein Konzept für das Controlling der Umsetzung eine Kommunikations- sowie eine Verstetigungsstrategie erstellt.

Die Erstellung des Konzepts erfolgte unter Förderung der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) des Bundes und wurde am 07.12.2022 vom Senat zur Umsetzung beschlossen.

Projektleitung: Dr. Ulrich Müller

Projektmittel: 115.669 €, **Laufzeit:** 07/2021 - 06/2023 **Fördermittelgeber:** BMWK

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI)

Forschungsprojekte am Standort Kaiserslautern mit Bezug zur „Energieforschung“ im Berichtszeitraum 2020 – 2021. Beiträge des DFKI zum 15. Energiebericht Rheinland-Pfalz.

Kontakt im Falle von Rückfragen:

Stefan Zinsmeister

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI)

Assistent der Geschäftsführung

Tel.: +49 (0)631 205 75-1750

E-Mail: stefan.zinsmeister@dfki.de

Forschungsbereich Innovative Fabrikssysteme - Prof. Dr.-Ing. Martin Ruskowski

Projekt

Künstliche Intelligenz für Energietechnologien und Anwendungen in der Produktion - KI4ETA

Laufzeit 01.06.21 - 31.05.24

Fördermittelgeber BMWK

Das Projekt KI4ETA strebt durch den gezielten Einsatz von KI energetische Effizienzmaßnahmen und Betriebsoptimierungen in der Produktion an. Um dieses Ziel zu erreichen, werden in sieben Teilprojekten unter anderem eine Energiemanagementplattform zur Entwicklung selbstlernender Anwendungen und die dafür benötigte Vernetzung/Infrastruktur entwickelt. Mit Hilfe verschiedener KI-gestützter Assistenzsysteme und selbstlernenden Monitoringalgorithmen sollen energetische Transparenz und ein sicherer Betrieb der IT-Infrastruktur gewährleistet werden. Es sollen industriennahe Lösungen entwickelt werden, die nach Projektende in Produkte übertragen und angewendet werden können.

Forschungsbereich Smarte Daten & Wissensdienste - Prof. Dr. Prof. h.c. Andreas Dengel

Projekt

Fühler im Netz 2.0 - FIN 2.0

Laufzeit 01.06.2019 - 31.05.2022

Fördermittelgeber BMBF

Aufbauend auf dem Vorgängerprojekt werden in FIN 2.0 großflächige Lösungen zur Überwachung des Netzzustandes mittels Big Data und Künstlicher Intelligenz erprobt. Die Energiewende beschreibt den Weg von nuklearen und fossilen Brennstoffen hin zu erneuerbaren Energien und zu mehr Energieeffizienz. Die zentrale Versorgung mittels weniger Großkraftwerke wird durch viele Energieanlagen ersetzt, die den Strom dezentral in das Netz einspeisen. In Deutschland werden mittlerweile fast 40 Prozent des Stroms durch Wind, Sonne, Wasser oder Biomasse erzeugt. Diese erneuerbaren Energien unterliegen jedoch vielen äußeren Einflussfaktoren wie Wetter oder Tageszeit, die zu Schwankungen im Netz führen und die Versorgungssicherheit gefährden können. Das Forschungsprojekt FIN 2.0 befasst sich deshalb mit intelligenten Lösungen zur einfachen und günstigen Zustandsanalyse von Verteilnetzen und den angeschlossenen Anlagen und trägt somit zu einer erfolgreichen Energiewende bei.

Projekt

Entwicklung einer Forschungs- und Technologieplattform: Steigerung der Energieeffizienz in der Produktion durch Digitalisierung und KI - ecoKI

Laufzeit 01.12.2020 – 30.11.2024

Fördermittelgeber BMWK

Digitalisierung und die Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) bieten vielfältige Möglichkeiten, um in Produktionsprozessen Energie effizienter zu nutzen und so den Ressourcenverbrauch und die Kosten zu reduzieren. Doch gerade kleine und mittlere Unternehmen können diese Möglichkeiten oft nicht umfänglich nutzen, denn für die Integration dieser Technologien fehlt es häufig an der Expertise im eigenen Betrieb. Entsprechend ist der Weg von der KI-Forschung in die Praxis betrieblicher Anwendung leider oft lange und beschwerlich. Das Forschungsprojekt ecoKI entwickelt eine Forschungs- und Technologieplattform, die einerseits kleinen und mittleren Unternehmen einen einfachen Zugang zu Infrastruktur, Werkzeugen und Wissen über KI-basierte Anwendungen zur Verbesserung der Energieeffizienz bereitstellt und andererseits KI-Forschern und -Entwicklern bessere Möglichkeiten zu Vermittlung und Anwendung ihrer Lösungen bietet.

Fraunhofer IESE Kaiserslautern:

Prof. Dr. Frank Bomarius

Fraunhofer IESE

frank.bomarius@iese.fraunhofer.de

Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und regenerative Eigenstromversorgung

Bezug: Fraunhofer Zentrum Kaiserslautern (IESE und ITWM)

- Fraunhofer in Kaiserslautern betreibt Fotovoltaik-Anlagen von in Summe 44,5 kWp / 49 MWh in 2020 und 2021.
- Fraunhofer in Kaiserslautern betreibt KWK Anlagen mit einer Leistung von 400 kW thermisch / 248 kW elektrisch. Jahresproduktion 2020 und 2021 je: 2.900 MWh thermisch, 1.700 MWh elektrisch.
- Fraunhofer in Kaiserslautern betreibt Kältegewinnung mittels freier Kühlung, 136MWh in 2020 und 2021, 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 Mitglied der Fraunhofer Allianz Energie und aktiv mit Projektbeteiligung im Verein ODH e.V. und somit optimal mit allen wichtigen Instituten und der Energieforschung innerhalb Fraunhofer darüber hinaus eng vernetzt.
- Fraunhofer IESE ist beteiligte sich an mehreren großen Forschungsprojekten im Bereich Energie, bspw. den Schaufensterprojekten enera und Designetz.

Bei den aktuellen 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 (Produkt Basyx) und Fragen der Safety und Security (und deren Integration) sowie Datennutzungskontrolle (Produkt MyData) bearbeitet. Von besonderem Interesse sind Digitale Zwillinge, die (u.a. auch energetische) Eigenschaften der Anlagen zum Zwecke der Simulation und des optimierten Betriebs abbilden. Die Fragen der Bilanzierung bzw. des detaillierten Nachweises der Energieverbräuche (nach Herkunft) und der Treibhausgaserzeugung sind wichtige neue Aspekte, die auf o.g. Plattform in aktuellen und verstärkt in zukünftigen Projekten abgebildet werden sollen (Akquise-Fokus für neue Projekte).

Fraunhofer IMM:

Fraunhofer IMM mit Sitz in Mainz erbringt Forschungs- und Entwicklungsleistungen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit und Wirksamkeit kompakter Stoff- und Energiewandlungssysteme sowie zur dezentralen & mobilen Energieversorgung. Die Umstellung des weltweiten Energiesektors von fossilen auf kohlenstofffreie Energieträger bis zur zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts ist eine wesentliche Voraussetzung für die Begrenzung des Klimawandels. Aufgrund der schwankenden Verfügbarkeit von erneuerbaren Energiequellen wird die Energiespeicherung in naher Zukunft noch wichtiger werden. Die Kapazität von chemischen Energiespeichern ist um Größenordnungen höher als die von Batterien. Wasserstoff ist ein solches Speichermedium, wobei Wasserstoffträger wie Methanol und Ethanol, synthetische Kohlenwasserstoffe wie Methan (Erdgas), flüssige Kohlenwasserstoffgemische mit höherem Molekulargewicht als Ersatz für Kerosin oder Diesel und, was derzeit weithin diskutiert wird, Ammoniak, erhebliche Vorteile in Bezug auf Leistungsdichte und Speicherbedingungen haben. Daher wird die Gewinnung von Wasserstoff aus verschiedenen Wasserstoffträgern durch katalytische Umwandlung, die man unter der Bezeichnung Reformiertechnik zusammenfassen kann, absehbar zu einem der zentralen Verfahren der zukünftigen Energietechnik werden. Das Fraunhofer IMM hat sich seit Anfang des Jahrtausends zur weltweit leistungsstärksten außeruniversitären Forschungseinheit auf dem Gebiet der Reformiertechnik entwickelt. Die auf industrieller Auftragsforschung oder öffentlicher Förderung basierenden Projekte sind entlang der gesamten Technologiekette angelegt: Systemdesign, Prozesssimulation, Katalysatorentwicklung, Dauerhaltbarkeitstests, Reaktordesign, Entwicklung kostengünstiger Fertigungstechnologien, Systemsteuerung, Systemintegration und Systemtest. Die dynamische Wasserstoffversorgung für Brennstoffzellen, einschließlich der Reformierung von Erdgas, Flüssiggas, Methanol, Ethanol, Propylenglykol, Benzin, Kerosin und Diesel für stationäre und mobile Anwendungen in den Bereichen Flugzeugassistenz, maritime Anwendungen und landwirtschaftliche Fahrzeuge, Transport und Automotive ist ein wichtiger Teil des Portfolios des Fraunhofer IMM. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen für kleine bis mittlere stationäre Lösungen, die Ammoniaknutzung für den Antrieb von Offshore-Schiffen und die Reduzierung der Kohlendioxide-

mission industrieller Prozesse, die Nutzung von grünem Wasserstoff in Power-to-Gas-Anwendungen und die Reinigung von Reformat oder Abgasen sind weitere herausragende Projektthemen. Die Konstruktion, Realisierung und Erprobung hochkompakter mikrostrukturierter Reaktoren zur Reformierung von Brennstoffen, Ammoniakspaltung und katalytischen Methanisierung, die zugehörige Katalysatortechnologie, der Aufbau kompletter Brennstoffprozessorsysteme und deren Kopplung mit Brennstoffzellen sowie schließlich die Automatisierung von Systemen mit und ohne Brennstoffzellen runden die Expertise des Fraunhofer IMM ab.

Projektbeispiele

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. Betrachtet werden 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. Abgedeckt wird der Leistungsbereich von 100 W bis zu 100 kW sowie die Integration der Brennstoffzelle.

Ammoniak:

Die Entwicklungsarbeit des Fraunhofer IMM konzentriert sich aktuell auf die Bereiche Transport, Logistik und Fertigungsindustrie. Basierend auf dem breiten Fachwissen des Fraunhofer IMM in den Bereichen Systemdesign, Prozesssimulation, Katalysatorentwicklung, Reaktordesign, Systemsteuerung, Systemintegration und Systemtests beschäftigt sich Fraunhofer IMM u.a. mit:

- der katalytischen Umwandlung von Ammoniak in "Spaltgas" als brennbares wasserstoffhaltiges Gas in Industrieprozessen und Verbrennungsmotoren,
- der Katalysator- und mikrostrukturierten Reaktortechnik zur Erzeugung von reinem Wasserstoff aus grünem Ammoniak unter Darstellung der gesamten Prozesskette von der Wasserstoffherzeugung über die Gasaufbereitung bis zur Verstromung in einer Brennstoffzelle,
- der katalytischen Konversion für das Abgas einer mit Ammoniak betriebenen Brennstoffzelle, das Restwasserstoff und Ammoniak enthält, sowie
- der Entwicklung von langlebigen und robusten Katalysatoren für diesen Umwandlungsprozess.

Dies umfasst die Entwicklung von Reaktoren und den Bau von Systemprototypen.

Biotreibstoffe:

Im Rahmen der Entwicklung integrierter Bioraffineriekonzepte erforscht Fraunhofer IMM Konzepte zur Erzeugung von Basischemikalien wie Methanol und höheren Alkoholen sowie zur Herstellung 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 Plattenwärmeübertragertechnik des Fraunhofer IMM ermöglicht die Intensivierung der Prozesse und die Verbesserung der Wärmeintegration der avisierten dezentralen Anlagentechnik. Die Prozesstechnik des Fraunhofer IMM erlaubt es, eine robuste Produktion von Biodiesel auch in Gegenwart von freien Fettsäuren und aus Abfallstoffen wie gebrauchten Frittierfetten zu realisieren. Möglich wird dies durch den Einsatz mikrostrukturierter Reaktoren in einem heterogen katalysierten Prozess, der unter überkritischen Bedingungen geführt wird. Gleichzeitig wird dabei gegenüber dem konventionellen Prozess die Erzeugung von Abwasser reduziert und der Energieverbrauch minimiert. Das Anwendungsgebiet sind dezentralisierte Anlagen, die vor Ort und je nach Anwendungsfall ohne lange Transportwege aus Abfallstoffen Biodiesel erzeugen.

Wärme- und Kältemanagement:

Fraunhofer IMM verfügt über ein Portfolio laserverschweißter und gelöteter Wärmeübertrager für die Wärmeübertragung zwischen Gasströmen sowie für Verdampfungs- und Kondensationsprozesse, die sehr hohe Betriebstemperaturen und -drücke erlauben. Darüber hinaus verfügt Fraunhofer IMM über Technologien zur Erwärmung/Verdampfung von Gasen und Flüssigkeiten mittels elektrischer Energie. Abhängig vom Anwendungsfall können Wärmeübertragungskomponenten für Betriebstemperaturen zwischen -250 °C und 950 °C realisiert werden. Der maximale Gasdurchsatz hängt dabei vom erlaubten Druckabfall ab und kann mehrere 100 m³ pro Stunde betragen. Wärmeübertragungsleistungen bis zu 100 kW und spezifische Wärmeübertragungsoberflächen bis zu 2.400 m²/m³ sind typische Parameter.

Power-to-Gas:

Das Fraunhofer IMM verfügt über mehr als 20 Jahren Erfahrung in der Katalysatorentwicklung und Reaktorentwicklung für eine Vielzahl von Reaktionen (Brennstoffaufbereitung, Verbrennung, Brennstoffsynthese und viele andere). Langzeittests von am Fraunhofer IMM selbst entwickelten Katalysatoren im Labormaßstab 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 praktischen Anwendungen unter den Bedingungen von Start-up, stationärem Betrieb und Lastwechseln für eine Vielzahl von Anwendungen bewährt. Die Reaktorherstellung kann durch kosteneffiziente Herstellungsverfahren erfolgen. Darüber hinaus eignet sich die angewandte Technologie 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 Fraunhofer IMM gemeinsam mit und für Kunden und Partner Komplettlösungen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab und weiter bis zur Serienreife. Dies umfasst die Prozessschritte verfahrenstechnische Prozessmodellierung, die Optimierung der Wärmeintegration, die Konzeption der Reaktoren und Peripheriekomponenten (Verdampfer, Wärmeübertrager, Kondensatoren), die Auslegung bzw. Auswahl der Reaktoren und Komponenten (Verdampfer, Wärmeübertrager, Kondensatoren, Pumpen, Gebläse, Ventile), die Konstruktion der Reaktoren und Komponenten, die Integration des Komplettsystems, den Test an Einzelkomponenten, die Entwicklung der Systemsteuerung sowie Tests an Komplettsystemen bis in den Pilotmaßstab.

Abgasreinigung:

Aufgabenstellungen der Abgasreinigung erfüllt Fraunhofer IMM durch individuell angepasste Lösungen. Zum Einsatz kommen katalytische Reaktoren, die integrierte Kühlfunktionen und hocheffiziente, maßgeschneiderte Wärmeübertrager zur Kontrolle der exothermen Prozesse beinhalten. Dies erlaubt auch eine Verbesserung des dynamischen Betriebes mobiler Abgasreinigungssysteme. Im Bereich der Reformiertechnik besitzt Fraunhofer IMM langjährige Expertise in der Entfernung von Kohlenmonoxid aus dem Reformatstrom mittels Wasser-Gas Shift, präferentieller (selektiver) Oxidation von Kohlenmonoxid, selektiver Methanisierung, sowie der Entfernung kritischer (toxischer) Substanzen aus Abgasströmen durch katalytische Verbrennung.

Fraunhofer IMM verfügt über selbstentwickelte, robuste, langzeitstabile Katalysatortechnik, und hat Know-how und Erfahrung im Reaktordesign (auch im kW Maßstab) und in der Integration der Reaktoren in komplette Reformersysteme.

Katalyse:

Fraunhofer IMM entwickelt Katalysatoren und katalytische Beschichtungen für Mikrostrukturen, die optimal an den Reaktortyp und die Skalierung des jeweiligen Prozesses angepasst sind. Neben der Neuentwicklung von Katalysatoren gehört die Optimierung bestehender Katalysatorformulierungen im Hinblick auf Selektivität und Aktivität ebenso zum Dienstleistungsangebot des Fraunhofer IMM wie die Stabilisierung der Katalysatoren für den robusten Einsatz in der realen Prozessumgebung. Für die heterogene Gasphasenkatalyse liegt der aktuelle Fokus des Fraunhofer IMM auf den nachfolgenden Reaktionen:

- Erzeugung von Wasserstoff mittels Reformierreaktionen von Kohlenwasserstoffen (u. a. Methan, Biogas, Propan, Butan, Diesel, Kerosin) und Alkoholen (u. a. Methanol, Ethanol, Polyalkohole),
- Erzeugung von Wasserstoff mittels Partialoxidation von Propan und Biogas,
- Wasserstoffreinigung, d. h. Abreicherung von Kohlenmonoxid mit Hilfe der Wassergas-Shift-Reaktion und der selektiven Oxidation von Kohlenmonoxid,

- Katalytische Verbrennung von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) in Abgasen und Reinigung von Abgasströmen, die Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxid oder Wasserstoff enthalten,
- Katalytische Verbrennung für die interne Beheizung von Plattenwärmeübertragerreaktoren,
- Umsetzung von Kohlendioxid zu Methan (Power to Gas).

MPI für Polymerforschung

UHMob - Ultra High Charge Carrier Mobility to Decipher Transport Mechanisms in Molecular Semiconductors (ETN-Project)

Prof. Dr. M. Bonn, Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz (MPI-P)

UHMob (Ultra High Charge Carrier Mobility to Decipher Transport Mechanisms in Molecular Semiconductors) ist ein standortübergreifendes Europäisches Trainingsnetzwerk (ETN), das darauf abzielt, eine multidisziplinäre und bereichsübergreifende Ausbildung und Forschung auf dem Gebiet der organischen Elektronik zu ermöglichen. Das wissenschaftliche Ziel von UHMob ist es, ein grundlegendes Verständnis der Ladungstransportmechanismen in molekularen Halbleitern zu gewinnen. Zu diesem Zweck werden die am besten geeigneten und am besten charakterisierten Materialien mit Hilfe einer Reihe von komplementären Methoden untersucht, darunter Feldeffekttransistoren, aber auch optische Methoden wie Terahertz- und nichtlineare Spektroskopie und feldinduzierte zeitaufgelöste Mikrowellenleitfähigkeit.

Das Netzwerk besteht aus der Université Libre de Bruxelles, der Universität Mons, der Universität Cambridge, der Universität Straßburg, der Technischen Universität Graz, der Humboldt-Universität zu Berlin, den Forschungszentren Max-Planck-Institut für Polymerforschung und Consejo Superior de Investigaciones Científicas sowie den Unternehmen Polycrystalline und BASF SE.

Laufzeit: 2019-2023; Fördersumme: 3,92 Mio €; Fördermittelgeber: EU

Protonen Transfer in protischen ionischen Flüssigkeiten

Dr. J. Hunger, Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz (MPI-P)

Prof. Dr. C. Schröder, Universität Wien, Österreich

Obwohl bei Raumtemperatur flüssige Salze - ionische Flüssigkeiten - aufgrund ihres hohen Flammpunktes das Potenzial haben konventionelle Elektrolyte zu ersetzen, machen ihre hohe Viskosität den Ladungstransport für die meisten elektrochemischen Anwendungen zu langsam. Dieser Nachteil kann durch die Verwendung von protischen ionischen Flüssigkeiten umgangen werden, da in protischen ionischen Flüssigkeiten elektrische Ladungen nicht nur durch die Diffusion der großen und sperrigen Ionen erfolgt, sondern auch durch den Transport von

kleinen, leichten Protonen. Somit kann in protischen ionischen Flüssigkeiten die elektrische Leitfähigkeit durch die Entkopplung des Ladungstransports vom Stofftransport erhöht werden. Es ist allerdings extrem schwierig den Beitrag der Protonen – falls überhaupt vorhanden – zum Ladungstransport zu bestimmen. Der Beitrag der Protonen wurde bisher einerseits durch die Gleichgewichtsverteilung der Protonen in den Flüssigkeiten oder durch die Bestimmung der Mobilität aller Ladungsträger abgeschätzt. Da keine dieser Methoden die Mobilität der Protonen separieren kann, führten diese Studien zu inkonsistenten Ergebnissen. In diesem Projekt wird der Ladungstransport in protischen ionischen Flüssigkeiten auf allen relevanten Längen- und Zeitskalen untersucht. Hierzu wird (i) der Beitrag der Protonen zur Leitfähigkeit durch eine Kombination von experimenteller Bestimmung und Simulationen der breitbandigen dielektrischen Spektren isoliert. Im Projekt wird auf Methylimidazolium-basierte ionische Flüssigkeiten und deren Mischungen mit Acetonitril fokussiert. Nach der Etablierung der Methodik, ist das Ziel dieses Projekts (ii) die Grundlagen des Protonentransports in protischen ionischen Flüssigkeiten zu ergründen. Dazu werden wir die Protonendonorenstärke des Anions der ionischen Flüssigkeiten mit Hilfe fluorierte Carbonsäuren variieren. Die Kombination von experimentellen Ergebnissen mit reaktiven, polarisierbaren Molekulardynamiksimulationen stellt eine neuartige Strategie dar, um Ladungstransport in protischen ionischen Flüssigkeiten zu modellieren und zu verstehen. Die Ergebnisse sollen bei der Synthese von neuartigen Elektrolyten eine wichtige Rolle spielen.

Laufzeit: 2020 – 2024; Fördermittelgeber: DFG

n-AQUA - Nanoscale water: A Quantum Understanding of Angstrom-scale transport" "

Prof. Dr. M. Bonn, Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz (MPI-P)

L. Bocquet, CNRS/École normale supérieure - PSL in Paris (ENS-PSL)

A. Angelos, University of Cambridge

Wasser wird in der Regel als eine transparente Flüssigkeit mit einer bestimmten Dichte und Viskosität beschrieben. Details über das Verhalten einzelner Wassermoleküle werden hierbei oft ignoriert. Wird Wasser jedoch räumlich auf Nanometerdimensionen begrenzt, zum Beispiel in einer Nanopore, bricht diese so genannte Kontinuumsbeschreibung zusammen, und molekulare Details spielen eine Rolle. Es gibt sogar Hinweise darauf, dass völlig neue und bisher unbekannte Phänomene auftreten. Ein Verständnis dieser Phänomene ist für technologische Anwendungen wie die Herstellung von Wasserstoff als Energieträger und die Wasseraufbereitung/Entsalzung von entscheidender Bedeutung.

Das Projekt wird sich zunächst auf die Untersuchung und das Verständnis von solchem auf die Nanoskala beschränktem Wasser konzentrieren. Die gemeinsamen Experimente stützen sich auf das Pariser Fachwissen im Bereich des "nano-confinement" und die Fähigkeit, Wasser mit Hilfe fortschrittlicher Spektroskopie in Mainz zu "sehen". Sie werden durch Computersimulationen aus Cambridge ergänzt, um ein ganzheitliches Bild von Wasser im Nanomaßstab zu erhalten.

Darüber hinaus wird auch die Fließeigenschaft von Wasser untersucht. Mit diesem Verständnis wird gehofft in Zukunft diese auf der Nanoskala beeinflussen und gestalten zu können, was dann zur Verbesserung technologischer Prozesse genutzt werden kann.

Laufzeit: 2023-2029; Fördersumme 10 Mio €; Fördermittelgeber: European Research Council (ERC)

Nanoskalige Effekte in Perowskitsolarzellen

Jun.-Prof. Dr. S. 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 Zwillingdomänen“ 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

Technologie-Institut für Metall & Engineering GmbH (TIME)

Das Technologie-Institut für Metall und Engineering (TIME) ist ein anwendungsorientiertes Forschungs- und Technologietransfer-Institut mit Sitz in Wissen/Sieg im nördlichen Rheinland-Pfalz. Das Institut versteht sich als externer Forschungs- und Entwicklungspartner für Metall verarbeitende Unternehmen. TIME unterstützt insbesondere KMU durch Forschung, Erprobung und Anwendung auf den Gebieten Simulation, Schweiß- und Fügetechniken sowie Engineering bei der vorwettbewerblichen Produkt- und Prozessoptimierung und der Einführung neuer Technologien. Bei der anwendungsnahen Forschung sind Anwendung und Nutzen der Künstlicher Intelligenz in der Schweißtechnik und der Leichtbau in den Fokus des TIME gerückt.

Da es sich beim Schweißen um eine Querschnittstechnologie handelt, erzielt jede Verbesserung auf diesem Gebiet eine große Breitwirkung. Besonders relevant ist das Schweißen für die Branchen Fahrzeugbau (PKW, Nutzfahrzeuge, Schiffe) und dem Maschinen- und Anlagenbau (z.B. Anlagen für die chem. Industrie, Recyclinganlagen, und erneuerbare Energien wie Windenergieanlagen oder Wasserstofftechnologie). Die erzielten Verbesserungen betreffen u.a. die Effizienz, die Automatisierung und Digitalisierung der Fertigung und Ressourceneinsparungen.

„**SindE** - Erweiterung der vorhandenen simulativen Möglichkeiten um den Bereich der Simulation des induktiven Erwärmens“

Projektsumme: € 66.192,75/ Laufzeit: 01.06.2020 - 31.12.2021

Gefördert durch: EFRE/ RLP

Kurzbeschreibung des Vorhabens:

Die induktive Erwärmung findet in der Schweißtechnik sowohl in der Bauteilvorbereitung als auch in der Bauteilnachbereitung Anwendung. In der Vorbereitung der Bauteile wird die Technologie für das Vorwärmen der Fügepartner eingesetzt, in der Nachbereitung wird es für die Korrektur von Verzug und weiteren Formänderungen verwendet. Das Ziel sowohl der Berechnung auf Basis elektromagnetisch-thermisch gekoppelter Analysen als auch die thermische Analyse mit äquivalenten Wärmequellen wurde vollumfänglich erreicht. Damit ist es nun simulativ möglich, eine Wärmebilanz aufzustellen und diese in Relation mit der Energiezufuhr der realen Anlage zu setzen. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Rohstoff- und Energieverknappung besteht nunmehr die Möglichkeit, Optimierungen des Fertigungsprozesses simulativ zu verifizieren.

„**FEMUSkopie** - Entwicklung eines in die Fertigung integrierten Überwachungs-verfahrens zur Herstellung von Schweißbaugruppen mit optimiertem Materialeinsatz für den Leichtbau“

Projektsumme: € 177.202,00/ Laufzeit: 01.04.2019 - 01.09.2021

Gefördert durch: ZIM -Zentrales Innovationsprogramm-Mittelstand (BMWK)

Kurzbeschreibung des Vorhabens:

Ziel des Vorhabens ist, erstmals die Ultraschallmikroskopie als zerstörungsfreies Prüfverfahren für Schweißnähte zu nutzen. Mit Hilfe der Methode des maschinellen Sehens und der Anwendung von Deep Learning Algorithmen soll eine automatische Lokalisierung und Klassifizierung von Schweißpunkten und Unregelmäßigkeiten ermöglicht werden. Dies ermöglicht eine deutlich reduziertere Anzahl der zu testenden Schweißproben sowie eine massive Reduzierung des Prüfaufwandes. Darüber hinaus liefert das Verfahren das Potenzial ein „Overdesign“ beim Materialeinsatz deutlich zu verringern.

„**exokiwe** - Erprobung der Anwendung von Künstlicher Intelligenz in der Schweißtechnik und Abschätzung der ökonomischen und ökologischen Einsparpotenziale“

Projektsumme: € 390.705,72/ Laufzeit: 01.02.2021-31.03.2023

Gefördert durch: Land Rheinland-Pfalz

Kurzbeschreibung des Vorhabens:

Das Synonym „exokiwe ist eine Abkürzung aus „exploration of KI in Welding“. Ziel des Vorhabens ist die wissenschaftliche Erprobung und Untersuchung, inwieweit durch eine KI-basierte Voraussage der Schweißparameter eine verbesserte Schweißnahtqualität und somit eine verbesserte Fertigungseffizienz und Produktqualität erzeugt und somit effizientere Produktionsmethoden und Ressourceneinsparungen realisiert werden können.

Institut für Innovation, Transfer und Beratung ITB:

TSB: 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 MKUEM mittelständische Unternehmen bei der Durchführung von Analysen zum Produktionsintegrierten 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 Energieeinsparpotenziale untersuchen lassen. Ziel ist es hierbei, den Unternehmen aufzuzeigen, in welchen Bereichen ihrer Produktion bzw. betriebsinternen Abläufe Einsparpotenziale liegen. Darauf aufbauend werden Vorschläge zur Umsetzung dieser Potenziale 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. Trinkwasserwerk).

Die TSB arbeitet im Auftrag von mehreren Gebietskörperschaften in Rheinland-Pfalz an Klimaschutzkonzepten, die aus der „Kommunalrichtlinie“ als Bundesförderprogramm für Klimaschutzprojekte gefördert werden. Als externe Dienstleisterin unterstützt die Transferstelle Bingen seitdem zehn Gebietskörperschaften in der Konzepterstellung (Treibhausgasbilanzierung und Berechnung von Potenzialen sowie Szenarien) und führt die Prozessunterstützung für Klimaschutzmanagerinnen und –manager aus. Transformationspfade zum Ausstieg aus der Nutzung von fossilen Energieträgern für die Versorgung von kommunalen Liegenschaften stehen zunehmend in der Bearbeitung mit Kommunen.

Darüber hinaus wurden 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.

Die TSB bereitet sich ebenfalls mit Partnern auf die Erstellung von kommunalen Wärmeplänen vor, die eng an Umsetzungsvorhaben geknüpft sein sollen. Konkrete Bearbeitungen sind für 2023 erwartet.

Wärmeverbundnetze – kalte Nahwärme

Die Transferstelle Bingen führt in Verbindung mit Energiekonzepten und Machbarkeitsstudien etwas 10 Neubaugebiete pro Jahr Untersuchungen zur Umsetzbarkeit von Wärmenetzen durch. Durch die verschärften Anforderungen an Neubauten aus den Bundesgesetzen und der Energiepreissteigerungen in Folge von Russlands Ukraine-Krieg zeigt sich eine verstärkte Bereitschaft für die Umsetzung von Gemeinschaftswärme-Anlagen in Neubaugebieten. Die gemeinsame Wärme ist am Wirtschaftlichsten in Form einer gemeinsamen Wärmequellen Erschließung umsetzbar, die Geothermische Energie für die neuen Gebäude zur Verfügung stellt. Die TSB bearbeitet hierzu nicht nur Konzepte, betreut für Kommunen, Stadtwerke oder Zweckverbände Förderanträge, sondern übernimmt auch innovative Planungsleistungen, die am Markt so nicht verfügbar sind. Zu Erforschung des Wissensstandes und Verbreiterung der Umsetzungsbasis hat sich die TSB 2022 an dem Forschungsprojekt GeoWaermeWende beteiligt unter der Führung der RWTH Aachen und unter Mitwirkung von Prof. Thomas Giel, Hochschule Mainz (siehe unten).

Projektbeispiele

Q-SWOP

Laufzeit	01.10.2018-30.09.2023
Fördermittelgeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
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.

Zellenübergreifende Regionalisierung der Energieversorgung durch betriebsoptimierte Sektorenkopplung (RegEnZell)

Laufzeit	04/2019 – 03/2022
Fördermittelgeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (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 vorgelegte 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-Wärme-

pumpen den Vorteil, dass sie keine Schallemissionen im Neubaugebiet verursachen und wegen ihrer höheren Energieeffizienz weniger CO₂e-Emissionen aufweisen. Lokale Emissionen werden sogar ganz vermieden.

Ein Kaltes Nahwärmenetz verfügt über eine zentrale Wärmequelle (z.B. Erdsondenfeld). Hier nimmt ein Wärmeträgermedium, ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel, die Wärme des Erdreichs/Grundwassers mit seinen ganzjährig konstanten Temperaturen von zehn bis zwölf Grad Celsius auf. Durch eine Ringleitung gelangt das erwärmte Trägermedium zu den Gebäuden. Dort heben Wärmepumpen die bereitgestellte Energie auf das individuell gewünschte Temperaturniveau. Neben der Heizung im Winter bietet das Netz auch die Möglichkeit, die Häuser im Sommer ökologisch und wirtschaftlich zu kühlen („Freecooling“).

Die erfolgversprechende Technologie kommt verstärkt in Neubaugebieten zum Einsatz. Im Rahmen von Machbarkeitsstudien bis hin zur projektspezifischen Beratung und Begleitung der Umsetzung unterstützt die Transferstelle Bingen die Kommunen.

GeoWaermeWende

Laufzeit	01.05.2022 bis 30.04.2025
Fördermittelgeber	BMWi über PTJ
Partner	Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen (Koordination), RWTH Aachen Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen, RWTH Aachen Lehrstuhl für Bauinformatik & Geoinformationssysteme, RWTH Aachen Stadtwerke Schifferstadt Transferstelle Bingen (TSB) in der ITB gGmbH Internet Marketing Services GmbH

Der Projektschwerpunkt der GeoWaermeWende ist es, anhand des umgesetzten KNWN der Stadtwerke Schifferstadt die Anforderungen an das System definiert und der praxistaugliche Einsatz eines vernetzten Energiesystems zu zeigen. Kern der Forschungsarbeiten ist der Aufbau und die Weiterentwicklung einer Planungsplattform für oberflächennahe geothermische Systeme auf Quartiersebene, die eine Übertragbarkeit auf andere Regionen gewährleistet. Innerhalb der Plattform sollen Berechnungswerkzeuge und Simulationen sowohl untereinander als auch mit Wirtschaftlichkeits- und Ökologiebetrachtungen verknüpft werden, um die Machbarkeit von Projekten in frühen Projektphasen zu bewerten. Dazu wird ein Systemkonfigurator zur Dimensionierung von geothermischen Wärmenetzen entwickelt, der technische, energetische, ökonomische und ökologische Aspekte berücksichtigt und an verschiedene Si-

mulationen und Berechnungsansätze gekoppelt werden kann. Die TSB bringt ihre Erfahrungen in Umsetzungsprojekten mit ein sowohl aus der Konzeption als auch aus der Errichtungs- und Betriebsphase.

Wissenstransfer für die Verbreitung von nachhaltigen Umsetzungen in Energiesystemen in Rheinland-Pfalz

Laufzeit	Seit 01.05.2019
Fördermittelgeber	MKUEM

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 anderen Ortes 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.

Die Unterstützung durch das Umweltministerium ist für diese Aufgabe 2021 ausgelaufen.

igem: Forschung im Bereich Geothermie und angewandte Seismologie

Permea

Die Abschätzung hydraulischer Durchlässigkeiten im Untergrund unter besonderer Berücksichtigung von Störungszonen ist unerlässlich für die Bewertung geologischer Strukturen hinsichtlich ihrer Reservoir- oder Barriereigenschaften. Dies gilt insbesondere auch hinsichtlich der Erschließung geothermischer Lagerstätten zur Strom- und Wärmeenergiegewinnung. Hauptziel des vom BMBF geförderten Verbundprojekts (Verbundpartner igem-ITB, FAU, RWTH, MaP und JGU) ist die Entwicklung von Modellen zur verbesserten Vorhersage der Bruchverteilung und entsprechender Permeabilitätseigenschaften im Bereich von Störungszonen. Auf der Mikroskala werden Deformationsstrukturen und Bruchmuster auf einem cm-nm-Maßstab sowie Zementation und andere diagenetische Veränderungen betrachtet. Die Mesoskala umfasst die Betrachtung einzelner Brüche unter Berücksichtigung ihrer Oberflächenstruktur und Geometrie. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden auf ein Feldexperiment übertragen, um den Fluidfluss unter realen Bedingungen innerhalb komplexer Bruchnetzwerke zu bestimmen.

Laufzeit 2017-2020

Fördervolumen 365.000 Euro

SEIGER

Änderungen der Spannungsverhältnisse im geologischen Untergrund, verursacht durch den Betrieb geothermischer Kraftwerke, können zu induzierter Seismizität führen. Zur Überwachung geothermischer Anlagen werden unterschiedliche Konzepte, wie mikroseismische Monitoringverfahren oder seismische Array-Verfahren, angewendet. Das Gesamtvorhaben SEIGER hat zum Ziel, vorhandene Monitoringmethoden weiterzuentwickeln und Wege zu finden, diese effizient gemeinsam bzw. ergänzend einzusetzen, um mögliche induzierte Seismizität im Bereich von Geothermiekraftwerken besser zu verstehen. Im Teilprojekt des igem (ITB) sollen Modelle zur Prognose kritisch gespannter Störungen im Vorfeld einer Bohrung unter Berücksichtigung der regionalen Spannungszustände und der gegebenen Porendruckänderungen entwickelt werden. Die Prognosefähigkeit der Modelle soll an einem Beispielstandort getestet werden, an welchem induzierte Seismizität hochaufgelöst detektiert und geologischen Strukturen zugeordnet wird.

Laufzeit 2019-2023

Fördervolumen 282.000 Euro

KWISS

Windenergieanlagen (WEA) erzeugen Erschütterungen im Untergrund, die auch noch in einigen Kilometern Entfernung seismische Messungen stören können. Seismologische Messungen sind für die Erforschung des Erdkörpers und die Überwachung natürlicher und anthropogener Erdbeben, wie z.B. beim Rohstoffabbau, unverzichtbar. Zur Registrierung solcher Ereignisse werden sehr schwache Bodenbewegungen aufgezeichnet, weshalb der Einfluss von Störsignalen nur gering sein darf. Daher werden Messanlagen häufig an gering besiedelten Standorten betrieben. Dies sind jedoch auch bevorzugte Standorte für WEA. Um den resultierenden Interessenkonflikt zu entschärfen, soll im Verbundprojekt KWISS (Verbundpartner igem-ITB und Universität Frankfurt) versucht werden, durch Entwicklung innovativer Methoden die Auswirkungen von WEA auf seismologische Messstationen rechnerisch zu minimieren. Dazu soll das seismische Feld einer WEA charakterisiert werden. Durch langfristige seismische Messungen werden Richtungsabhängigkeit und Abklingkurven der Signalabstrahlung einer WEA bestimmt, um daraus das entfernt vorliegende seismische Störsignal zu berechnen. Anschließend soll ein Algorithmus entwickelt werden, um über mathematische Methoden die Störsignale aus seismischen Messdaten herauszurechnen und so die Daten einer beeinflussten Messstation zu korrigieren. Anhand einer Beispielanwendung sollen Methoden entwickelt werden, die sich für die Anwendung auf andere WEA verallgemeinern lassen. Damit ergäbe sich u.U. die Möglichkeit, WEA in geringerer Entfernung zu seismischen Stationen zu planen und deren Datenqualität zu verbessern. Im Fall einer erfolgreichen Datenkorrektur können wichtige Erkenntnisse für die Gestaltung von Richtlinien und für einen Interessenausgleich gewonnen werden.

Laufzeit 2019-2022

Fördervolumen 808.000 Euro

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM:

Energie berechenbar machen

Energie ist eines der dominierenden politischen und gesellschaftlichen Themen unserer Zeit – und seit langem auch erklärter Leitmarkt der Fraunhofer-Gesellschaft. Seit Jahren befassen sich zahlreiche Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM mit unterschiedlichen Aspekten rund um das Thema Energie. Sie leisten einen Beitrag für die Energieversorgung der Zukunft und arbeitet an der Realisierung unserer Vision vom »Digitalen Zwilling Energie«. An dieser arbeiten zahlreiche Forschende an unserem Institut auf ganz unterschiedliche Weise mit. Denn am Fraunhofer ITWM modellieren, simulieren und optimieren wir Energie und machen sie berechenbar.

Wir arbeiten für alle Themenbereiche.

Mathematik kommt bei uns in unterschiedlichen Bereichen rund um das Thema Energie zum Einsatz – zunächst beim Planen und Auslagern der benötigten Infrastruktur, bei der operativen Steuerung sowie in der Prognose, wie viel Energie wann nachgefragt und angeboten werden kann und zu welchem Preis. Die Projekte an unserem Institut betreffen dabei die Energieerzeugung, die Speicherung und Verbreitung von Energie durch ihre Netze, aber auch ihren Verbrauch durch Industrie, Liegenschaften, Betriebe, Haushalte sowie Mobilität. Hinzu kommen zahlreiche Projekte, die sich mit dem Energie- und Flexibilitätsmarkt beschäftigen.

Eine Auswahl weiterer aktueller Energieprojekte des Fraunhofer ITWM finden sie unter:

<https://www.itwm.fraunhofer.de/de/Anwendungsfelder/erneuerbare-energien-nachhaltigkeit.html>

https://www.itwm.fraunhofer.de/content/dam/itwm/de/documents/Jahresberichte/jb2021-22/JB2021-22_Energie.pdf

https://www.itwm.fraunhofer.de/content/dam/itwm/de/documents/Jahresberichte/jb2020-21/07_JB2020_Energie_web.pdf

Projektbeispiele:

AGENS: Energieverbrauch vorhersagen

Laufzeit: April 2020 – März 2023; Fördermittelgeber: BMBF

Deutschland wird im Jahr 2030 vermutlich etwa zehn Prozent mehr Strom verbrauchen als bisher angenommen – verkündete das Bundeswirtschaftsministerium im Juli 2021. Energieprognosen vermitteln eine Vorstellung über die zukünftige Entwicklung der Energieversorgung, damit besser geplant werden kann. Die Prognosen entstehen mit Hilfe von mathematischen Modellen, die komplexe Zusammenhänge möglichst realitätsnah abbilden.

Im Projekt AGENS, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird, entwickeln wir gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung smarte Prognosemodelle. Dessen Basis: Mit neusten mathematischen Methoden, basierend auf Neuronalen

Netzen (NN), sind die Algorithmen in der Lage, die Gesamtkomplexität anhand großer Datenmengen vorherzusehen.

Speziell auf dem Strommarkt gibt es bei der korrekten Prognose des Energiebedarfs entscheidende Unsicherheitsfaktoren, denn sie ist abhängig von der Einspeisung aus saisonal stark schwankenden erneuerbaren Energiequellen – Wind- und Sonnenenergie sind abhängig vom Wetter. Zusammen mit klassischen thermischen Kraftwerken liefern sie in Deutschland den Strom.

Um sicherzustellen, dass der Energiebedarf gedeckt werden kann, müssen Energieunternehmen (Bilanzkreisverantwortliche, kurz BKV) eine Prognose über den Energiebedarf und die Energieerzeugung am kommenden Tag in ihrem Verantwortungsbereich abgeben. Diese wird viertelstundengenau an den zugehörigen Netzbetreibern übermittelt, um die Netzstabilität zu gewährleisten. Das heißt: Umso besser die Modelle und Prognosen, desto besser können die Unternehmen planen.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/agens>

EnerQuant: Quantencomputing Energiewirtschaft

Laufzeit: 01.09.2020 – 31.08.2023; Fördermittelgeber: BMWK

Quantencomputing für die Energiewirtschaft: Energiewirtschaftliche Fundamentalmodellierung mit Quantenalgorithmen

Im BMWK-geförderten Projekt EnerQuant entwickeln wir Algorithmen für Qubit-basierte Quantencomputer und Quantensimulatoren zur Lösung eines energiewirtschaftlichen Fundamentalmodells mit stochastischen Einflussgrößen. Als Basis des Projektes definieren wir ein einfaches Fundamentalmodell, welches wir in ein quantenmechanisches Problem übersetzen und welches sich effizient auf einem Quantensimulator lösen lässt. Die entwickelten Algorithmen werden in einem Prototyp implementiert und auf einem Quanten-Annealer getestet.

In der Folge werden Fundamentalmodell und Quantensimulator sukzessive weiterentwickelt mit dem Ziel, den deutschen Strommarkt hinreichend genau stochastisch zu modellieren. Wir vergleichen die Ergebnisse mit einem Benchmark auf klassischen High-Performance Computing Systemen und evaluieren alternative Architekturen.

Beitrag zur Energiesystemmodellierung

EnerQuant ermöglicht, das Potenzial neuer Computing-Technologien für die energiewirtschaftliche Modellierung zu nutzen. Wir zeigen auf, wie Fundamentalmodelle formuliert werden, um die Rechenleistung von Quantensimulatoren einzusetzen, und leisten so langfristig einen Beitrag für die Weiterentwicklung der Energiesystemmodellierung. Die Ergebnisse werden in die Software-Plattform unseres Partners JoS QUANTUM einfließen und stehen so der Industrie nach Projektende zur Verfügung.

Des Weiteren liefert EnerQuant eine Analyse des Potenzials von Quantencomputern und stellt dessen Effizienz in direkten Vergleich zu klassischer Hardware und alternativen Ansätzen zur Lösung von Optimierungsproblemen.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/enerquant>

ENets – Modellierung und Steuerung zukünftiger Energienetze

Laufzeit: 01.01.2018 – 31.12.2020; Fördermittelgeber: BMBF

Das Projektteam von ENets erstellt mathematische Prognosemodelle, wie sich der Bedarf an Strom im Jahresverlauf entwickelt, um das Stromnetz der Zukunft optimal zu gestalten. Im BMBF-Projekt arbeiten vier wissenschaftliche Partner gemeinsam mit vier Partnern aus der Industrie.

Erneuerbare Energien decken inzwischen 36 Prozent der Stromversorgung ab (Stand Dezember 2017) und haben in einzelnen Stunden bereits den vollständigen Strombedarf Deutschlands gedeckt. Die schrittweise Umstellung von Kohle und Kernkraft auf Sonne, Wind und Biomasse bringt Veränderungen für Wirtschaft und Verbraucher mit sich. Erneuerbare Energien sind unbeständig und die Versorgung schwankt je nach Wind- und Sonnenstärke. Um an Spitzentagen Zukäufe aus dem Ausland zu vermeiden und Versorgungssicherheit zu gewährleisten, helfen Prognosemodelle, die ermitteln, wie sich der Bedarf im Laufe des Jahres entwickelt.

Ein Modell zur Beschreibung des Stromnetzes und zur Prognose der Ein- und Ausspeisungen zu erstellen, ist Kern unseres Forschungsvorhabens. Am Ende soll ein algorithmisch effizientes Gesamtmodell stehen, welches eine gekoppelte Perspektive von Markt und Netz als auch von Strom und Gas bietet – Ebenen, die bislang meist separat analysiert wurden.

Wir beschäftigen uns mit folgenden Fragestellungen:

Entwicklung von Modellen und Algorithmen zur Integration stochastischer Eingangsgrößen in die physikalischen Netzmodelle für Strom und Gas

Integration preissensitiver Nachfrage (smart-grids) und volatiler Erzeuger (erneuerbare Energien) in Strommarktmodelle für den Day-Ahead- und den Intraday-Markt

Methoden zur Kopplung und operativen Optimierung des Strom- und Gasnetzes unter Berücksichtigung unsicherer Eingangsgrößen

<https://www.itwm.fraunhofer.de/de/abteilungen/fm/flexible-lasten-energie/enets-modellierung-steuerung-energienetze.html>

Risikocontrolling für Energieunternehmen

Laufzeit: September 2015 – Dezember 2023; Industriepartner: Pfalzwerke AG

Energieunternehmen sind einer Vielzahl von Risiken ausgesetzt, deren Kontrolle und Steuerung elementare Bestandteile der Unternehmensführung sind. Wir bieten Ihnen eine Risikocontrolling Software, die sich nicht auf Standards beschränkt.

Häufig findet das Risikomanagement noch auf Basis von komplexen und unübersichtlichen Implementierungen in Tabellenkalkulationen statt. Daneben bietet der Markt für Risikocontrolling-Software standardisierte Lösungen, die jedoch meist eine Umstellung des gesamten Handels- und Portfoliomanagement-Systems auf die Software des Anbieters erfordern. Diese Produkte haben einen sehr hohen Integrationsaufwand und können darüber hinaus die spezifischen Anforderungen eines Energieunternehmens mit individuellem Profil meist nur ungenau erfüllen. Je nach Risikoart sind die Standardansätze unzureichend, beispielsweise wird aus Gründen der Einfachheit mit einer Normalverteilungsannahme gearbeitet. Unser Anspruch ist es, realistische und verständliche Modelle zu verwenden, die alle entscheidenden Risikofaktoren abbilden.

Unsere Software bewertet alle für Energieunternehmen relevanten Risiken:

Marktpreisänderungsrisiken

Liquiditätsrisiken

Händlerrisiken

Kontrahentenrisiken (Wiederverwertung, Zahlungsausfall)

Temperaturbedingte Risiken

Mengen- und Strukturrisiken

Eine Erweiterung mit Blick auf individuelle Risiken (z. B. Niederschlag / Zufluss bei Wasserkraft) ist möglich.

Für die Marktpreisänderungsrisiken sind je nach Commodity (Strom, Kohle, Gas, CO₂) individuelle Modelle implementiert, wobei auch die Korrelation zwischen den Rohstoffen abgebildet wird. Die Kalibrierung der Modellparameter erfolgt an Marktdaten.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/Risikocontrolling-Energie>

FlexEuro Wirtschaftliche Optimierung flexibler stromintensiver Industrieprozesse, Teilvorhaben: Day-Ahead-Markt

Laufzeit: 01.09.2019 – 31.08.2022; Fördermittelgeber: BMWi (BMWK)

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 Vermarktungspotenziale 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.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/flexeuro>

Seis4Oil Seismische Datenverarbeitung für die Öl- und Gas-Exploration

Laufzeit: 01.01.2018 – 31.12.2022; Industriepartner aus der Ölindustrie

Das Fraunhofer ITWM entwickelt unter exakter Abstimmung mit dem Kunden spezialisierte Algorithmen und Softwarelösungen für die Bearbeitung seismischer Daten. Mit der Methode GRT zur Berechnung der Struktur des Erduntergrundes aus seismischen Daten wird dem Markt ein besonderes leistungsstarkes Imaging-Verfahren angeboten. Die internationale Kundschaft stammt aus dem Öl und Gassektor.

Seis4Wind Offshore Windpark-Planung durch seismische Erkundung

Laufzeit: 01.01.2018 – 31.12.2022; Fördermittelgeber: BMWi (BMWK)

Seismische Verfahren dienen hier der Erforschung des flachgründigen Erduntergrundes für die Standortplanung von Offshore-Windkraftanlagen. Die entwickelten Verfahren tragen bei zur Evaluierung der Stabilität des Untergrunds sowie zum Auffinden von Störkörpern, die ein Einrammen der Kraftwerksmasten verhindern würden.

chargeBIG Ladeinfrastruktur

Laufzeit: 01.08.2018 – 31.07.2022; Fördermittelgeber: BMWK

Im Projekt chargeBIG wird gemeinsam mit der MAHLE-Gruppe und der eliso GmbH eine neuartige Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge entwickelt. Sie ist kosteneffizient, hochskalierbar und gleichzeitig netzdienlich. Ziel ist es, Parkhäuser möglichst kostengünstig im großen Stil zu elektrifizieren, also alle Parkplätze eines Parkhauses mit einer Lademöglichkeit auszustatten.

Statt teure Komponenten an wenigen Parkplätzen zu installieren, werden die notwendigen technischen Komponenten an einer zentralen Stelle zusammengefasst und am jeweiligen Parkplatz nur eine Säule mit Ladekabel aufgebaut. Die an jedem Parkplatz notwendigen Komponenten sind auf ein Minimum reduziert. Die Zentralisierung bietet sowohl bei der Herstellung als auch bei den laufenden Wartungskosten erhebliche Vorteile.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/de/abteilungen/hpc/green-by-it/chargebig.html>

GreenPowerGrid der regionale Grünstromtarif

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. Haushalte und Gewerbe passen ihren Bedarf in den Sektoren Strom, Wärme und Elektromobilität an die verfügbare Energie an

<https://www.itwm.fraunhofer.de/de/abteilungen/hpc/green-by-it/greenpowergrid.html>

Amperix-Sektorengekoppeltes Energiemanagementsystem

Laufzeit: 01.03.2020 – 31.12.2024; Industriepartner: Wendeware AG

Das herstellerunabhängige Energiemanagementsystem Amperix etabliert mit seiner optimierten Steuerung von Batteriespeichersystemen, Wärmepumpen und Ladestationen für E-Fahrzeuge eine Energie-Drehscheibe für Haushalt und Industrie. Als Entscheidungsgrundlage für die Steuerung werden durch den Amperix alle Energieflüsse in einem Haushalt erfasst. Dazu zählen beispielsweise, die Erzeugung von Energie durch Fotovoltaikanlagen, der Bezug oder die Einspeisung von Energie aus dem bzw. in das Netz sowie größere Verbraucher wie eine Wärmepumpe oder ein Elektrofahrzeug.

Über die myPowerGrid Webplattform hat der Nutzer jederzeit Zugriff auf diese Energieflüsse, welche anhand von Graphiken und Datenanalysen transparent dargestellt werden.

Neben der intelligenten Verwertung aktueller Messdaten verarbeitet der Amperix Erzeugungsprognosen für Fotovoltaikanlagen (siehe dazu auch PVCAST) und Lastprognosen für den Haushaltsverbrauch und die Wärmepumpe. Diese Prognosen ermöglichen eine effizientere Nutzung und Flexibilität im Haushalt.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/amperix>

Grid-Friends/ATELIER – Energiegemeinschaften

Laufzeit: 01.11.2019 – 31.10.2024; Fördermittelgeber: EU

Sinkende Preise für Batteriespeicher und thermische Lasten machen ein Energiemanagement zwar möglich, dabei bedarf es allerdings einer intelligenten Koordinierung von Energieerzeugern und Verbrauchern.

Das Projekt GRID-Friends steuert ein intelligentes Energienetz, das Nachbarschaften hilft energieneutral und selbsttragend zu werden, indem es die Speicherung und Verteilung der Energie zwischen den Haushalten koordiniert.

Jeweils ein deutsches und ein niederländisches Quartier dienen als Pilot für den Einsatz der Technologieplattform. Beide haben sich unterschiedliche Projektziele gesetzt: In Schoonschip, Amsterdam (NL), verfolgen 47 schwimmende Haushalte das Ziel der maximalen Autarkie: Sie wollen energieneutral werden und das nachhaltigste schwimmende Wohnviertel in Europa. In Widdersdorf (Köln) strebt man nach einer maximalen Kosteneffizienz.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/de/abteilungen/hpc/green-by-it/grid-friends.html>

MICA SCAN Zerstörungsfreies Prüfen von Kraftwerksgeneratorstäben

Laufzeit: Seit 29.11.2017 laufend; Industriepartner: Siemens

Die Inspektion von Kraftwerksgeneratoren ist ein komplexes Unterfangen, zum einen wegen der schieren Größe der Generatoren, zum anderen wegen ihres Aufbaus; nicht alle Stellen sind zugänglich und der Raum für den Einsatz von Messtechnik oftmals begrenzt. In den letzten Jahren haben sich jedoch viele Terahertz- und Millimeterwellen-Technologien aus dem wissenschaftlichen Hintergrund heraus in spezifische industrielle Anwendungen hineinentwickelt – so auch in die zerstörungsfreie Prüfung auf Defekte unterhalb der Oberfläche in der Qualitätskontrolle und Produktwartung. Gemeinsam mit der Firma Siemens Energy wurde die Terahertz-Messtechnik für den Einsatz zur Risserkennung in Glimmerisierungen von Generatorstäben erprobt. In gemeinsamer Entwicklung wurde ein Messsystem realisiert, welches auf Basis dielektrischer Wellenleiterantennen eine Vermessung der relevanten Staboberflächen im begrenzten Stabzwischenraum erlaubt. Es wurde an diversen Modellproben sowie echten Generatorstäben mit festgestellten Defekten gezeigt, dass die Defekte in allen Fällen einwandfrei erkannt werden können. Die Untersuchungen fanden zunächst in Laborumgebung statt.

Die erfolgreich getestete Messtechnik wurde daraufhin in eine erste automatisierte Messanordnung überführt. Auf Seiten von Siemens Energy wurde eine Verfahrenmechanik aufgebaut,

welche den Einsatz der Terahertz-Prüfung am eingebauten Generatorstab am Generator erlauben soll. Es wurden erforderliche Schnittstellen zu dem entwickelten Terahertz-Prüfsystem definiert und schließlich erste Testmessungen in einem realen Messszenario durchgeführt. Anhand dieser Tests konnte die prinzipielle Eignung des entwickelten Verfahrens demonstriert werden.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/pruefung-terahertz>

Ecotraivid für Speditions- und Flottenbetrieb

Laufzeit: 2019 – 2023; Fördermittelgeber: EU

Von 2019 – 2023 beteiligte sich unser Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung« am europäischen LIFE-Förderprojekt ECOTRAVID (»Emission and Consumption Optimized Transport Missions Using Virtual Drives«). Das Projektvorhaben zielte darauf ab, die Effizienz eines virtuellen Fahrsimulators zu demonstrieren, der auf der bei uns am Institut entwickelten Software »[Virtual Measurement Campaign](#)« (VMC[®]) basiert und den Kraftstoffverbrauch von Schwerlastverkehr und die damit verbundenen CO₂-Emissionen reduziert.

<https://ecotraivid.eu>

Optimierte Planung von Ladeinfrastruktur für alternative Antriebskonzepte (VMC[®])

Laufzeit: Seit 2019; Industriepartner: MAN, Daimler, ZF

VMC[®] Simulation ist ein Modul innerhalb der VMC[®]-Suite und bietet Simulationen des Fahrzeugverhaltens in beliebigen Regionen oder Märkten.

Die wichtigsten Anwendungsbereiche für PKW, Vans oder Nutzfahrzeuge sind:

Betriebsfestigkeit für Fahrwerke, Karosserie oder Triebstrang

Verbrauch

Emissionen

Die Grundidee besteht in der Kombination von geo-referenzierten Daten wie typischen Routen, Topographie oder Verkehr mit einfachen Fahrer- und Fahrzeugmodellen mit dem Ziel, die Wirkung der Umgebung und des Verhaltens der Kundinnen und Kunden auf das Fahrzeug abschätzen zu können.

Die folgenden Funktionen werden bereitgestellt:

Definition und Verwaltung von Fahrer- und Fahrzeugmodellen

Import von Routen und Abbildung auf das Kartenmaterial

Schätzung von Geschwindigkeitsprofilen inkl. Längs- und Querbeschleunigungen

Berechnung von Längs- und Querkraften auf das Gesamtfahrzeug

Berechnung von Vertikalkräften mittels Modellen für Straßenprofile

Berechnung von Straßenprofilen aus Rauigkeitsindikatoren

Berechnung von Rauigkeitsindikatoren aus Straßenprofilen

VMC[®] Simulation ist implementiert als ein Teil der VMC Suite und verwendet die darin enthaltene VMC-Datenbasis.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/vmc-simulation>

Optimierung von Fahrweise und Nutzungsstrategie basierend auf Umgebungsdaten und Verkehrssimulation (VMC[®])

Laufzeit: Seit 2019; Industriepartner aus dem Mobilitätsbereich

Die vorliegende Verkehrssituation beeinflusst deutlich die Planung der Fahrstrategie und das aktuelle Fahrverhalten. Dementsprechend ist es bei der simulationsgestützten Vorhersage und Analyse des Fahrzeugverhaltens wichtig, den Verkehr als äußere Umgebung beziehungsweise Randbedingung zu berücksichtigen. Dies erfolgt durch die adäquate Abbildung durch entsprechende Modelle in der Simulation.

Man unterscheidet in der Verkehrssimulation hauptsächlich zwischen drei Ansätzen:

makroskopische Verkehrsmodelle

mesoskopische Verkehrsmodelle

mikroskopische Verkehrsmodelle

Diese werden jeweils mit stochastischen Modellierungstechniken erweitert, um Variabilitäten abzubilden. Wir setzen je nach Anwendungsfragestellung alle gängigen Modellierungsansätze ein und befassen uns darüber hinaus auch insbesondere mit der Weiterentwicklung, Verbesserung und Kombination verschiedener Ansätze.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/de/abteilungen/mf/dynamik-systemsimulation/verkehr-simulation.html>

SOPRANN: Synthese optimaler Regelungen und adaptiver Neuronaler Netze für Mobilitätsanwendungen

Laufzeit: 01.04.2020 – 31.03.2023; Fördermittelgeber: BMBF

Synthese optimaler Regelungen und adaptiver Neuronaler Netze für Mobilitätsanwendungen

Die fortschreitende Digitalisierung sowie stetige Entwicklungen im Bereich des Datenmanagements, der Datenanalyse und technologische Fortschritte in der Messtechnik eröffnen neue Möglichkeiten für datengetriebene Methoden in diversen technischen Anwendungen. Die Er-

kenntnisfortschritte in der Künstlichen Intelligenz (KI) und dem Maschinellen Lernen (ML) haben zudem dazu geführt, dass vernetzte Maschinen und Systeme zunehmend autonom agieren, Entscheidungen treffen und selbstständig lernen. Prominente Beispiele dafür finden sich auch im Bereich der Mobilität: hochautomatisierte Verkehrssysteme und autonome Fahrzeuge, vernetzte Verkehrsteilnehmer sowie die damit im Zusammenhang stehenden Fragen der erhöhten Verkehrssicherheit, Ressourceneffizienz, Umweltfreundlichkeit und besseren Auslastung existierender Verkehrsinfrastrukturen stehen für tiefgreifende und weitreichende Wandlungsprozesse im Bereich der Mobilität. Das Fraunhofer ITWM arbeitet unter anderem an Algorithmen zur intelligenten Verkehrssteuerung z. B. für energieoptimale Ampelsteuerungen.

<https://www.chemnitz-am.de/soprann>

COpt2 Optimierung komplexer Trinkwasserversorgungsnetze

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 Trinkwassernetzwerke. Das Fraunhofer ITWM untersucht gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen der RPTU Kaiserslautern-Landau die Trinkwassergebiete der Wasserversorgung Germersheimer Südgruppe (WGS) rund um Jockgrim und das Versorgungsgebiet der EnergieSüdWest GmbH (ESW) in Landau.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/copt2>

GEOS – Goldbeck Energieoptimierungssystem

Laufzeit: Seit 2018 laufend; Industriepartner: Goldbeck Bau AG

Mit der Goldbeck Bau AG entsteht eine Software zur Auslegung der Energieversorgung (Wärme, Kälte, Kraft) von Industriebauten, öffentlichen Bauten und Liegenschaften unter besonderer Berücksichtigung der energetischen Effizienz und des CO₂-Footprints. Grundlegend sind einfache wissens- und datenbasierte Modelle der in Frage kommenden Energieerzeugungs- und Speicherformen, die Kubatur des Gebäudes, die klimatischen Randbedingungen des Standorts sowie synthetische Lastgänge des Energiebedarfs. Mit Hilfe einer vereinfachten Simulation des Zusammenspiels der energetischen Komponenten wurde eine simulationsbasierte Optimierungssuite zur interaktiven Entscheidungsunterstützung der energetischen Auslegung entwickelt. Im Ergebnis entstehen Pareto-optimale Lösungsvorschläge, die CO₂-Footprint, Betriebs- und Investitionskosten und Komfort in ausgewogener Weise berücksichtigen. Die Software unterstützt Verkaufs- und Planungsingenieure im Kundendialog und Planung.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/geos>

OPT: Energieeffizienz in der chemischen Produktion

Laufzeit: Seit 2020 laufend; Industriepartner: BASF, Bayer

In vielen Industrieprozessen schlummert noch unentdecktes Verbesserungspotenzial – etwa was die Ausbeute eines Zielprodukts und den dazu benötigten Aufwand an Energie angeht. Dieses Potenzial aufzuspüren, ist gerade in Zeiten knapper Ressourcen von entscheidender Bedeutung. Wir entwickeln verlässliche, leicht bedienbare und individuell zugeschnittene Software zur Simulation und Optimierung von dynamischen Prozessen in der Verfahrenstechnik. Unsere Softwareprodukte erlauben es, interaktiv Verbesserungspotenzial zu entdecken und unterstützen dabei, die optimale Lösung zu finden.

Projektbeispiele aus der chemischen Industrie

Ein Team aus den Abteilungen »Optimierung – Technische Prozesse« und »Transportvorgänge« entwickelt ein Softwarepaket für die Simulation und Optimierung von Batch-Destillationsprozessen bei Industrieunternehmen. Batch-Destillationen – auch Chargendestillationen genannt – kommen zum Einsatz, um hochreine Chemikalien aus relativ kleinen Chargen eines Ausgangsgemischs herzustellen.

Bayer: Modellierung und Simulation von Batchdestillationsanlagen mit dem Ziel der Erhöhung von Produktausbeuten und Einsparung von Energieaufwänden.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/batchdestillation>

BASF: Vorschlag einer Verschaltung von thermischen Trennapparaten zur Lösung einer Trennaufgabe

<https://www.itwm.fraunhofer.de/trennen-destillieren>

SolarPlanner

Laufzeit: Seit 2018 laufend; Industriepartner: Goldbecksolar

Mit Goldbecksolar, entsteht eine umfassende Planungssoftware zur Auslegung von großen Freiflächen-Fotovoltaik-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.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/pv-kraftwerke>

ENERDIG – Energiemanagement 2.0, Digitalisierung, KI, Optimierte Prozesse

Laufzeit: April 2021 – Juni 2023; Fördermittelgeber: Land Rheinland-Pfalz-EFRE

ENERDIG steht für »ENERGIEMANAGEMENT 2.0, DIGITALISIERUNG, KI, OPTIMIERTE PROZESSE« und zielt auf ein ganzheitliches Energiemanagement ab. Angesiedelt ist das Projekt im Leistungszentrum »Simulations- und Software-basierte Innovation«, welches die Forschung der beteiligten vier ITWM-Abteilungen bündelt.

Künstliche Intelligenz (KI) spart Energie

Nachhaltigkeit und Energieeffizienz spielen am Fraunhofer ITWM seit jeher eine große Rolle und finden sich in fast allen Abteilungen als Forschungsthema wieder. So erklärt es sich, dass Forschende aus den Bereichen »Optimierung« und »High Performance Computing« sowie den Abteilungen »Transportvorgänge« und »Systemanalyse, Prognose und Regelung« ihre Expertise einbringen.

ENERDIG setzt Digitalisierung und KI ein, um den Energieverbrauch in Produktion und Gebäuden zu reduzieren, den Energieverbrauch an die fluktuierende Erzeugung anzupassen und Energieumwandlungsprozesse effizienter zu steuern.

https://www.itwm.fraunhofer.de/de/presse-publikationen/presseinformationen/2022/2022_03_17_uebergabe_foerderbescheid_enerdig.html

Ammonpaktor: Rückgewinnung von Wasserstoff aus Ammoniak

Laufzeit: Oktober 2021 – Dezember 2022; Fördermittelgeber: Land Rheinland-Pfalz-EFRE

AMMONPAKTOR – Nutzung von Ammoniak als kohlendioxidfreien Wasserstoffspeicher für die dezentrale Bereitstellung von Wasserstoff – Entwicklung eines innovativen kompakten Reaktorkonzeptes«

Die Energiewende kann nur gelingen, wenn viele dezentrale Speichermöglichkeiten und neue Energieträger genutzt werden. Darum fördert der Europäischen Fonds für regionale Entwicklung EFRE ein ganz besonderes Projekt, um das Potenzial von Ammoniak als Wasserstoffspeicher auszuloten. Forschungspartner sind das Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM in Mainz und das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern.

Untersucht werden Lösungskonzepte für eine zeitnahe und logistisch leichter realisierbare Wasserstoffbereitstellung.

ITWM-Expertise: Modelle und Simulationen

Während das Fraunhofer IMM auf die technische Umsetzung fokussiert, u. a. an einem Teststand mit Batteriezelle, liefert das Fraunhofer ITWM mathematische Modelle und Simulationen, die für die effiziente Auslegung der chemischen Anlagen von entscheidender Bedeutung sind.

ABBA-VEEB Ausbau der Batteriesimulation BEST zu einer Auslegungsplattform für die virtuelle Entwicklung und Erprobung von Batteriezellen

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 hinaus 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.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/abba-veeb>

5Gain – 5G Infrastrukturen für zellulare Energiesysteme unter Nutzung künstlicher Intelligenz

Laufzeit: 01.12.2019 – 30.11.2022; Fördermittelgeber: BMWi (BMWK)

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 ortsbezogene 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.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/5gain>

DESPRIMA – Demand-Side- und Produktionsmanagement für Getränkeabfüllprozesse

Laufzeit: 01.07.2019 – 30.06.2022; Fördermittelgeber: BMWi (BMWK)

Ziel des Projektes DESPRIMA ist es, die Potenziale 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 prädizierbare 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.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/desprima>

Gebäudebeheizung

Laufzeit: Seit 2019 fortlaufend; Industriepartner:FCC (Göteborg (S))

Im Projekt »District Heating« arbeitet ein Team unserer Abteilung »Systemanalyse, Prognose und Regelung« daran mit moderner Mathematik digitale Zwillinge der Beheizung von Gebäuden zu erstellen. Gemeinsam mit dem schwedischen Institut Fraunhofer-Chalmers Centre for Industrial Mathematics FCC sollen so mit Hilfe von Simulationen die Regelalgorithmen zur Beheizung der Gebäude mit Fernwärme validiert werden.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/energy-sys>

Monitoring von Torsionsschwingungen in Antriebssträngen / Netz-Antriebsstrang Wechselwirkungen

Laufzeit: 01.06.2021 – 31.12.2022; Industriepartner: RWE, UNIPER, GMVA, VGBe

Das Ziel des durch den VGBE betreuten sowie durch sechs Partner (BASF, ENGIE, GKM, MVV, RWE und Uniper) und dem VGBE finanzierten Forschungsprojekt SSTI Monitoring war

es, Wechselwirkungen zwischen Wechselrichtern, elektrischen Generatoren und dem Wellenstrang basierend auf Messungen von Strömen und Spannungen auf der elektrischen Seite und Torsionsschwingungen auf der mechanischen Seite zu erfassen und zu analysieren.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/torsion>

OpenMeter: Energiemonitoring öffentliche Liegenschaften

Laufzeit: 01.05.2020 – 30.07.2023; Fördermittelgeber: BMWK

Die Digitalisierung der Energiebranche führt dazu, dass immer mehr Messdaten erfasst werden. Auch der Bedarf an Messdaten aus dem Energiesystem steigt weiter an. Während für die Energieerzeugung in Folge von Transparenzverpflichtungen zumindest für größere Erzeugungseinheiten eine gute öffentliche Datenlage besteht, mangelt es an öffentlich zugänglichen, realen Messdaten von Energieverbrauchern. Solche Verbrauchsdaten sind jedoch die notwendige Basis für wesentliche Innovationen im Zuge der Energiewende, beispielsweise für die Energieeffizienzsteigerung und -bewertung, für die intelligente Netzplanung für Smart Grids sowie für die interdisziplinäre Entwicklung innovativer Dienstleistungen und Geschäftsmodelle basierend auf Künstlicher Intelligenz und Big Data Analytics.

Es ist daher ein Anliegen sowohl von Forschung wie auch von der Industrie und öffentlichen Einrichtungen einen einfachen, offenen Zugriff auf vielfältige und umfangreiche reale Verbrauchsdaten aus dem deutschen Energiesystem zu erhalten. <https://www.itwm.fraunhofer.de/OpenMeter>

UPWARDS – Simulation der Physik von Windkraftanlagen und Rotordynamiken

Laufzeit: 01.04.2018 – 30.09.2022; Fördermittelgeber: EU-HORIZON 2020

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 Fluid-Struktur-Interaktion, Systemermüdung sowie Schallausbreitung. Methoden der Modellreduktion und des High Performance Computing erzeugen präzise Simulationsergebnisse des relevanten Systemverhal-

tens 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.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/upwards>

MathEnergy: Regelungskonzepte für Energienetze der Zukunft

Laufzeit: 01.10.2016 – 30.04.2021; Fördermittelgeber: BMWi (BMWK)

Im Fokus der Energiewende stehen gegenwärtig unter anderem Stromerzeugung, Übertragung und Elektromobilität. Im Hinblick auf eine CO₂-neutrale Energieversorgung muss der Blick aber weiter gefasst werden, denn der Energiekreislauf umfasst Erzeugung, Umwandlung, Transport, Speicherung und Verbrauch in Strom-, Gas- und Wärmenetzen. Unabhängig vom Energiemedium gibt es eine Reihe wiederkehrender mathematischer und informations-technischer 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.

<https://www.itwm.fraunhofer.de/de/abteilungen/sys/energieerzeugung-und-verteilung/upwards-simulation-physik-windkraftanlage-rotordynamik.html>

DingFESSt: Digitaler Zwilling zur flexibilisierten und effizienzoptimierten Steuerung dezentralisierter Fernwärmenetze

Laufzeit: 01.01.2021 bis 31.12.2023.; Fördermittelgeber: BMWK

Im Projekt »EnEff:Wärme – DingFESSt« entwickelt das Fraunhofer ITWM gemeinsam mit der GEF Ingenieur AG und den Technischen Werken Ludwigshafen AG (TWL) einen »Digitalen Zwilling zur flexibilisierten und effizienzoptimierten Steuerung dezentralisierter Fernwärmenetze«.

Der Wärmesektor steht im Zuge der fortschreitenden Energiewende vor zahlreichen Herausforderungen: Dazu gehören neben dem stetig sinkenden Wärmebedarf die Notwendigkeit einer dynamischen Sektorkopplung und die Zunahme an dezentraler Wärmeerzeugung auch durch sogenannte Prosumer. Damit werden Betriebe bezeichnet, die nicht nur Wärme aus dem Netz beziehen, sondern selbst auch einspeisen, z.B. Abwärme aus Industrieprozessen.

Die Dezentralisierung der Wärmenetze mit volatiler, verteilter Einspeisung ist mittels klassischer Betriebsroutinen für zentrale Wärmequellen nicht mehr abbildbar. Das Potenzial von

Fernwärmenetzen als regionale Energiespeicher für den Stromsektor wird bisher kaum ausgeschöpft. Die Fernwärme der Zukunft als zentraler Baustein eines nachhaltigen Energiesystems erfordert daher innovative Regelungskonzepte sowie neue kommunikative Ansätze.

Industriepartner: GEF Ingenieur AG, Technische Werke Ludwigshafen AG (TWL)

<https://www.itwm.fraunhofer.de/dingfest>

EHFo Energieeffiziente Hochtemperaturprozesse durch Formoptimierung

Laufzeit: 01.01.2018-30.06.2021; Fördermittelgeber: BMBF

Hochtemperaturprozesse sind immer mit extremen thermischen Verlusten verbunden, so dass sich in diesem Bereich ein mächtiger Hebel zur Energie-, CO₂- und Kosteneinsparung ergibt. Mathematische Modellierung, Simulation und Optimierung sollen dieses riesige Potenzial 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, 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.

EiFer Energieeffizienz durch intelligente Fernwärmenetze

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 in einem Team in enger Zusammenarbeit mit dem Industriepartner realisiert wird.

Spaltgas

Laufzeit: 01.07.2021 – 31.06.2024; Fördermittelgeber: BMBF

Ammoniak kann ähnliche wie Wasserstoff als Energieträger genutzt werden. Dieser Weg bietet hinsichtlich Lagerung und Transport einige Vorteile gegenüber der direkten Nutzung von Wasserstoff. Allerdings ist Ammoniak für die Energieerzeugung durch Verbrennung wenig geeignet, da es an der Luft praktisch nicht brennbar ist. In einem Spaltreaktor mit geeignetem Katalysator kann Ammoniak in Wasserstoff und Stickstoff aufgespalten werden. Das entstehende Gemisch aus Ammoniak, Wasserstoff und Stickstoff, das sogenannte Spaltgas, ist brennbar.

Im Projekt „Grünes Spaltgas als Brenngas zur Ziegelherstellung“ (Spaltgas) im Rahmen des Förderprogramms „KlimPro-Industrie“ des BMBF wird erforscht, ob dieses Spaltgas als Brenngas für die Ziegelherstellung geeignet ist, um damit eine grüne Alternative zum Erdgas zu bieten. Das Fraunhofer ITWM unterstützt diese Entwicklung durch modellbasierte Simulationen für die Auslegung von Spaltreaktor und Brennofen. Am Projekt sind weitere Fraunhofer-Institute und Industriepartner beteiligt.

Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe IVW:

Das Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe GmbH (IVW) ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung des Landes Rheinland-Pfalz und der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU). Es erforscht Grundlagen für zukünftige Anwendungen von Verbundwerkstoffen, die z.B. für die Mobilität der Zukunft, die Bereiche Energie, Klima und Umwelt, die Produktionstechnologie sowie für das Gesundheitswesen von großer Bedeutung sind. Neue Werkstoffe, Bauweisen und Fertigungsprozesse werden untersucht und – nach der Erarbeitung des Grundlagenverständnisses – für die jeweiligen Anforderungen maßgeschneidert.

Dabei steht die gesamte Prozesskette von den werkstofflichen Grundlagen über die Charakterisierung und Simulation, die Bauweisen und die Fertigungstechnik bis zum Bauteilversuch und Recycling im Fokus. Neue Ideen und innovative Konzepte sind nicht nur ein essentieller Bestandteil der Forschung und Weiterentwicklung des Institutes, sondern führen auch zu Ausgründungen. Neu erworbenes Wissen wird transferiert, vor allem in die Wissenschaft, aber auch in die Lehre, die interessierte Öffentlichkeit und die industrielle Anwendung.

Das IVW beforscht viele Projekte, bei denen die Energieeffizienz im gesamten Produktlebenszyklus im Vordergrund stehen. Eine in den letzten Jahren immer stärker nachgefragte Thematik ist die Wasserstoffspeicherung. 2021 wurden am IVW mehrere geförderte Projekte hierzu durchgeführt.

Eine Lösung für den Güterverkehr stellt die Brennstoffzellentechnologie in Kombination mit einem Wasserstoffspeicher dar, bei dem der Wasserstoff unter hohem Druck gespeichert werden kann. Der Wasserstoffdrucktank ist somit ein Schlüsselement der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, insbesondere zur Erreichung hoher Reichweiten. Der hohe Nenndruck von 700 bar sowie die Leichtbauanforderungen für mobile Anwendungen erfordern den Einsatz von Kohlenstofffaserverbundwerkstoffen.

MaTalnH2

In dem vom BMVI geförderten Forschungsprojekt **MaTalnH2** wird von den Projektpartnern Mahle, der TUM und dem IVW das Ziel der Industrialisierung der Großserienproduktion von Wasserstoff-Drucktanks bei gleichzeitiger Reduktion der Produktkosten verfolgt.

In dem Projekt wird ein Typ-IV Wasserstoff-Drucktank entwickelt und optimiert, der im Wickelverfahren hergestellt und dessen Eigenschaften anschließend validiert werden sollen. Innerhalb des Konsortiums hat das IVW die Aufgabe der Charakterisierung der Werkstoffe und ist an der Industrialisierung und Optimierung des Prozesses beteiligt. Um die zukünftigen Anforderungen an das Faserwickeln noch besser zu erfüllen, wird am IVW der bestehende Wickelprozess für die wirtschaftliche Fertigung hoher Stückzahlen optimiert. Zudem sollen die gewonnenen Erkenntnisse aus der Herstellung von Drucktanks dazu genutzt werden, eine Wickelanlage im industriellen Maßstab zu spezifizieren. Abschließend wird eine gesamtheitliche Analyse in Bezug auf die Projekt- und Entwicklungsziele durchgeführt.

Das Projekt „MaTalnH2 – Materialeffiziente und taktzeitoptimierte Industrialisierung von H2-Drucktanks“ wird durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Programms „Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase 2 (NIP II)“ gefördert (Förderkennzeichen 03B10111C).

WaVe

Im Rahmen des vom BMWK geförderten **WaVe**-Projektes wird ein neues innovatives Drucktankdesign entwickelt, das sehr schmale Tanks ermöglicht und durch die hohe Packungsdichte den Bauraum optimal nutzen kann. Anwendung soll die leichtbauoptimierte FKV-Drucktankbauweise bei der Speicherung von gasförmigem Wasserstoff für den neu zu entwickelnden Wasserstoff-Verbrennungsmotor für Nutzfahrzeuge im Medium-Duty Segment finden.

Abweichend von FKV-Drucktanks, die im herkömmlichen Wickelverfahren gefertigt werden, kann die optimierte Tankbauweise auch in offener und nicht nur in geschlossener FKV-Bauweise hergestellt werden. Das ermöglicht einen Zugang zum Innenraum bei gleichzeitig maximaler Leichtbaugüte.

Der Tank wird hierbei aus einem zylindrischen FKV-Bereich und zwei metallischen Domen im Endbereich aufgebaut, wobei die metallischen Fittings über die sog. „IVW-Lasteinleitung“ realisiert wird. Dabei erfolgt die Ausleitung der Last aus den axialen Faserlagen lagenweise in die

Vertiefungen des metallischen Bauteils. Umfangslagen pressen dabei die Längslagen in die Vertiefungen durch eine aufgebrachte Vorspannung bei der Herstellung sowie durch minimales „Gleiten“ im Betrieb. Die Zugspannung in den Umfangslagen wird durch ein „Gleiten“ auf den größeren Querschnitt der Vertiefung sowohl bei Druck als auch bei Zugbelastung erhöht. Diese Bauweise ermöglicht die Minimierung des Lastüberhöhungsfaktors in der Lasteinleitung auf ca. 1,4 im Vergleich zu ca. 3-10 bei herkömmlichen Lasteinleitungsvarianten und ermöglicht so maximalen Leichtbau. Ziel des Vorhabens **WaVe** ist es, dieses Wirkprinzip auf die Herstellung von FKV-Wasserstofftanks zu übertragen.

Das Projekt „WaVe – Entwicklung und prototypische Erprobung von Wasserstoff-Verbrennungsmotoren als emissionsminimierende Antriebssysteme für Nutzfahrzeuge im Medium-Duty Segment“ wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages gefördert (Förderkennzeichen 19I21028K).

TPC-H2-STORAGE

Um das Wachstumspotenzial der Wasserstoffwirtschaft sowohl technisch als auch infrastrukturell zu erschließen, wird im EFRE geförderten Projekt **TPC-H2-STORAGE** die Entwicklung von besonders effizienten Wasserstoffspeichern im Großserienmaßstab durch thermoplastische Faserverbundstrukturen angestrebt. Das IVW soll somit zentraler Entwicklungspartner und Applikationszentrum für regionale und überregionale Unternehmen sein und so zu einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Erholung der Wirtschaft nach der COVID-19-Pandemie beitragen. Konkret zielen diese Maßnahmen auf die Bereiche Mobilität und Energie ab. Dazu werden folgende technische Ziele verfolgt:

- Entwicklung von Designkonzepten sowie großseriengerechten Fertigungskonzepten für Wasserstoffspeicher aus thermoplastischen FKV
- Werkstoffmodifikation, -charakterisierung und -optimierung von faserverstärkten Thermoplasten für lebensdaueroptimierte Wasserstoff-Druckbehälter
- Verarbeitung funktionalisierter Thermoplaste und Konzeptentwicklung zur anwendungsnahen und zerstörungsfreien Prüfung von Druckbehältern und Subkomponenten
- Entwicklung eines digitalen Zwillings zur durchgängigen Anwendungsoptimierung vom Werkstoff bis zum qualitätsgesicherten Bauteil

Zur Zielerreichung erfolgt eine Ergänzung der Forschungsinfrastruktur am IVW, die dem Institut Alleinstellungsmerkmale am Standort sichert. So werden u.a. Anlagen zur erweiterten Prozessmöglichkeit, für neuartige Prüfeinrichtungen und neue Analysemöglichkeiten aufgebaut.

Das Projekt „TPC-H2-Storage – Infrastrukturentwicklung für thermoplastische Faserverbund-Druckbehälter für Wasserstoffspeicherung und Wasserstofftransport“ wird durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Rahmen der Reaktion der Union auf die COVID-19-Pandemie gefördert.

3.9 Das Land als Vorbild

Anhang 3: Fotovoltaikanlagen in LBB-Liegenschaften

WE NR	Liegenschaft	STRASSE + NR	PLZ	ORT	Anlage LBB Eigentum	Anlage nicht LBB Eigentum	Anlagen-Standort Hochschule	INSTALLIERTE LEISTUNG kWp	Anzahl der Solar-Module	MODUL FLÄCHE (ca.) m ²	Inbetriebnahme-datum der Einheit
694	Minist. MULEWF MWKEL ISIM, AMDG	Kaiser-Friedrich-Straße 1	55116	Mainz		x		56,2	562	464	04.08.2003
365	DLR Rheinpfalz NW, BBS f. WuG NW	Breitenweg 71	67435	Neustadt/Weinstraße		x		150,8	942	1314	24.11.2004
365	DLR Rheinpfalz NW, BBS f. WuG NW	Breitenweg 71	67435	Neustadt	x			11,6	80	114	24.11.2004
184	PI Kaiserslautern 1	Gaustraße 2	67655	Kaiserslautern		x		11,55		91,3	28.11.2004
801	HS TR Schneidershof	Schneidershof 1	54293	Trier		x	x	34	195	254	01.12.2004
74	BehH LBB LBM PI Diez	Goethestr. 9	65582	Diez		x		35,97	218	274	08.12.2004
176	FinA Kaiserslautern	Eisenbahnstr.56	67655	Kaiserslautern		x		27,72		219,1	15.12.2004
767	Uni KL-LD Campus LD Fortstraße	Fortstraße 7	76829	Landau		x	x	37,9	758	947	15.12.2004
650	DLR RNH Oppenheim BBS Agrar	Wormser Straße 111	55276	Oppenheim		x		48,96	306	401	28.12.2004
223	LBM Kaiserslautern	Morlauerer Straße 20	67657	Kaiserslautern		x		38,1		285	30.12.2004
381	BehH LD, Reiterstr.	Reiterstraße 16	76829	Landau		x		21,38	171		01.06.2005
795	HS LU Ernst-Boehe-Straße Gebäude B	Ernst-Boehe-Straße 4	67059	Ludwigshafen		x	x	11,5	64	82	07.07.2005
412	LandSch Gehörlose Trier	Am Trimmelter Hof 201	54296	Trier		x		38,96	736	530	01.08.2005
335	SozialG Speyer	Schubert-Straße 2	67346	Speyer		x		18,5	87	138	15.08.2005
362	Rechnungshof RLP SP	Gerhart-Hauptmann-Straße 4	67346	Speyer		x		20,68	97	153	15.08.2005
688	PP ELT Mainz, 1. Bauabschnitt Dachfläche Nord	Dekan-Laist-Straße 7	55129	Mainz		x		116,6		875	19.10.2005
688	PP ELT Mainz, 2. Bauabschnitt Dachfläche Süd	Dekan-Laist-Straße 7	55129	Mainz		x		87,3		657	19.10.2005
806	HS WO Campus	Erenburgerstraße 19	67549	Worms		x	x	69,66	387	479	19.10.2005
688	PP ELT Mainz, 3. Bauabschnitt Steildach	Dekan-Laist-Straße 7	55129	Mainz		x		48,31		364	09.12.2005
766	Uni KO Campus KO-Metternich	Universitätsstraße 1	56070	Koblenz		x	x	66,5	380	471	15.12.2005

682	Minist. FM, MFFKI	Kaiser-Friedrich-Straße 5 u. 5a	55116	Mainz		x		43,93		327	21.12.2005
54	Hochschule der Polizei RLP (HdP)	Postfach 11 11	55483	Hahn-Lautzenhausen		x		126,63		943,7	23.12.2005
160	Heinrich-Heine-Gymnasium KL	Im Dunkeltälchen 65	67663	Kaiserslautern		x		49		441	30.12.2005
183	PP Westpfalz	Logenstraße 5	67655	Kaiserslautern		x		14,48		130	30.12.2005
780	DHV Speyer Wohnheim (alt)	Freiherr-vom-Stein-Straße 2	67346	Speyer		x	x	37,8	168	266	10.11.2006
754	JVA Rohrbach	Peter-Caesar-Allee 1	55597	Wöllstein	x			122,1	608	911	20.12.2006
369	LBM SP, Dienststelle BZA	Marktstraße 2	76887	Bad Bergzabern		x		14	80	110,2	22.12.2006
7	PI Kirn	Bahnhofstraße 16	55606	Kirn		x		10,8		83	12.03.2007
232	ForschAnst f Waldökol. Trippst	Hauptstraße 16	67705	Trippstadt	x			16,5	108		22.08.2007
581	Feuerwehr- und Katastrophenschutzakademie (LFKA)	Lindenallee 41-43	56077	Koblenz		x		53,9	380	394	22.08.2007
26	DLR RNH Bad Kreuznach	Rüdesheimer Str. 60-68	55545	Bad Kreuznach		x		33,66		253	30.11.2007
490	Staatl. Aufbaugymn. Neuerburg	Pestalozzistraße 19-25	54673	Neuerburg	x			9,79	36	203	05.12.2007
647	BehH FinA MZ Süd GeoLA LUACHEM	Emy-Roeder-Straße 3	55129	Mainz		x		26,52	156	199	06.12.2007
31	Päd. LI Bad Kreuznach I	Steinkaut 3	55543	Bad Kreuznach	x			14,72	64		11.12.2008
752	JVA JSA Wittlich	Trierer Landstraße 64	54516	Wittlich	x			61,21	319	826	16.12.2008
367	Päd. LI Speyer (Pfalzkolleg)	Butenschönstr. 2	67346	Speyer	x			102,72	480	782	19.12.2008
780	DHV Speyer	Freiherr-vom-Stein-Straße 2	67346	Speyer	x		x	29,7	136	173	10.08.2009
805	HS TR Birkenfeld	Campusallee	55768	Hoppstädten-Weiersbach	x		x	170,16	2080		08.09.2009
805	HS TR Birkenfeld	Campus Allee, Station "Aula"	55768	Hoppstädten-Weiersbach	x		x	316,2	6288		09.09.2009
337	PI Germersheim	Friedrich-Ebert-Straße 5	76726	Germersheim	x			30	400	287	05.11.2009
590	LandG AmtsG KO	Karmeliterstraße 14	56068	Koblenz	x			27,74	68		23.11.2009
769	Uni MZ Campus Sporthalle	Dahlheimer Weg 6	55128	Mainz		x	x	113,4	1512	1089	20.12.2009
769	UNI MZ Campus - Bauleitung LBB	Ackermannweg 5	55128	Mainz	x		x	11,61	54	68	18.06.2010
70	Päd. LI Bad Kreuznach II	Röntgenstr. 32	55543	Bad Kreuznach	x			18,4	80		08.04.2011
411	FinA Trier	Hubert-Neuerburg-Straße 1	54290	Trier	x			22,1	70	267	16.06.2011

6	PI Bad Kreuznach	Ringstr. 3	55543	Bad Kreuznach	x			17,28	100		27.06.2011
769	UNI MZ Campus - Physikalische Chemie	Duesbergweg	55128	Mainz	x		x	9,57	50	?	28.06.2011
86	LandSch Sehbehinderte Neuwied	Feldkircher Straße 100	56567	Neuwied	x			13,06	32	200	04.07.2011
805	HS TR Birkenfeld	Campusallee	55768	Hoppstädten-Weiersbach	x		x	45,54	198		07.07.2011
659	PAST Gau-Bickelheim	Wöllsteiner Straße	55599	Gau-Bickelheim	x			20	80	130	21.07.2011
745	JSA Schifferstadt	Rudolf-Diesel-Straße 15	67105	Schifferstadt	x			268,6	1548	2061	10.08.2011
769	UNI MZ Campus - Anthropologie	Bentzelweg 14	55128	Mainz	x		x	12,24	30	195	27.12.2011
769	UNI MZ Campus - Sozialwissenschaftsgebäude	Wittichweg 5	55128	Mainz	x		x	67,44	281	462	27.06.2012
818	Forstwirt-Ausbildungszentrum Südwestpfalz	Kaltenbach 10a	66999	Hinterweidenthal	x			29,76	124		27.09.2012
346	PI Edenkoben	Luitpoldstraße 61 a	67480	Edenkoben	x			16,2	81	106	19.12.2013
268	SGD Süd NW, Hauptstelle, F.-Ebert-Str. 14	Friedrich-Ebert-Str. 14	67433	Neustadt	x			22,54	92	150	22.01.2014
806	HS WO Campus	Erenburgerstraße 19	67549	Worms	x		x	16,83	66	110	07.04.2014
381	BehH LD, Reiterstr.	Reiterstraße 16	76829	Landau	x			13,77	54	86	06.08.2015
783	HS KL II Campus Kammgarn Geb. F	Schoenstraße 6	67659	Kaiserslautern	x		x	37	148		12.05.2016
380	SGD Süd NW, Dienststelle SP	Industriestraße 70	67346	Speyer	x			20,8	80	128	02.08.2016
821	Justizzentrum Bad Kreuznach	John-F.-Kennedy-Straße	55543	Bad Kreuznach	x			57,12	224		15.08.2016
364	HS für Finanzen RLP, Luitpoldstr. 30	Luitpoldstr. 33	67480	Edenkoben	x			11,2	40	64	20.08.2016
455	LUA IHIS Trier	Maximineracht 11 b	54295	Trier	x			16,38	63	102	24.10.2016
786	HS KL II Campus Kammgarn Geb. E	Schoenstraße 6	67659	Kaiserslautern	x		x	89,25	350		26.01.2017
786	HS KL II Campus Kammgarn Geb. G	Schoenstraße 6	67659	Kaiserslautern	x		x	29,9	115		18.05.2017
805	HS TR Birkenfeld	Campusallee	55768	Hoppstädten-Weiersbach		x	x	96	360	500	17.10.2018
410	BehH FinA LVerMA AmtsG Daun	Berliner Straße 1	54550	Daun	x			15,41	46	78	08.04.2021
679	Aufbaugymnasium Alzey	Ernst-Ludwig-Straße 47 - 51	55232	Alzey	x			34,32	104	279	19.05.2022
759	VermKA Alzey	Ostdeutsche Straße 28	55232	Alzey	x			60,4	160	?	23.06.2022
823	PI Landstuhl	Bahnstraße 44-48	66849	Landstuhl	x			77,7	210		24.06.2022

847	PD Landau	Paul-von-Denis-Str. 5	76829	Landau	x			68,4	180	320	07.07.2022
528	PAST Mendig	Laacher-See Straße 15c	56743	Mendig	x			30,26	89	150	18.08.2022
781	TH Bingen, Campus	Berliner Straße 109	55411	Bingen am Rhein		x	x	13,9			unterschiedlich
SUMME								3.640			

Anhang 4: Stromertrag der Fotovoltaikanlagen

2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
38.694	54.383	623.771	1.260.970	1.464.174	1.564.051	1.748.764	2.364.381	2.774.615	2.856.501
2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
2.895.462	2.973.140	3.088.175	3.162.668	3.413.855	3.365.122	3.262.503	3.380.594	3.234.822	

Anhang 5: Wärmepumpenanlagen in LBB-Liegenschaften

Wärmepumpenanlagen mit Geothermie

WE	Liegenschaft	Straße	PLZ	Ort	Inbetriebnahme	Erdsonden Anzahl und Tiefe	Wärmepumpe
232	Forschungs Anstalt für Waldökologie Trippstadt	Hauptstraße 16	67705	Trippstadt	2007	1 x 50 m 1 x 80 m	1 x 8 KW aktiv Heizen Vorkühlung der Luft
396	DLR Mosel Bernkastel Kues	Görresstraße 10	54470	Bernk. Kues	2010	16 x 110 m	1 x 55,6 KW 1x 39,6 KW aktiv Heizen passiv Kühlen
829	Polizeiinspektion LU - Oppau	Friesenheimerstraße 55	67069	Ludwigshafen	2010	8 x 99 m	1 x 32 KW aktiv Heizen passiv Kühlen
160	Heinrich Heine Gymnasium	Im Dunkeltälchen 65	67663	Kaiserslautern	2011	1 x 100 m	Vorwärmung und Vorkühlung der Luft
766	Universität Koblenz Gebäude M	Universitätsstraße 1	56070	Koblenz	2011	15 x 150 m	2 x 55 KW aktiv Heizen 2 x 50 KW aktiv Kühlen
752	JVA Wittlich Wirtschaftsgebäude	Trierer Landstraße 64	54516	Wittlich	2013	3 x 130 m 17 x 110 m	2 x 21 KW Tiefkühl, 3 x 96 kW Kühlraum, 2 x 108 KW Wärme/WW

Wärmepumpen Anlagen (Wasser – Wasser oder Luft -Wasser WP)

WE	Liegenschaft	Straße	PLZ	Ort	Inbetriebnahme	Wärmepumpe Leistung	Wärmepumpe Anlagenart
786	HS Kaiserslautern Kammgarn Gebäude E + Gebäude F	Schoenstraße 6	67659	Kaiserslautern	2016 (2021)	3 x 95 kW	Wasser – Wasser WP mit „Lauterwasser“ 3 Röhrenwärmetauscher in Reihe Jahresarbeitszahl 4,7

Anhang 6: Solarthermieanlagen in LBB-Liegenschaften

WE	Liegenschaft	Straße	PLZ	Ort	Inbetriebnahme	Kollektorfläche m ²	Kollektortyp
805	Fachhochschule Trier Umweltcampus Birkenfeld	Campusallee	55768	Hoppstädten-Weiersbach	01.12.2000	260,0	Flachkollektoren
357	Polizeidirektion Neustadt	Karl-Helfferich-Straße 11	67433	Neustadt	10.08.2004	12,0	Flachkollektoren
765	Universität Kaiserslautern (RPTU), Gebäude 4 (Kindertagesstätte)	Pfaffenbergstr. 106 a	67663	Kaiserslautern	17.02.2005	11,0	Flachkollektoren
764	Universität Kaiserslautern (RPTU), Gebäude 28 (Sporthalle)	Paul-Ehrlich-Straße	67663	Kaiserslautern	17.02.2005	11,0	Flachkollektoren
764	Universität Kaiserslautern (RPTU), Gebäude 30 (Mensa)	Paul-Ehrlich-Straße	67663	Kaiserslautern	17.02.2005	39,6	Flachkollektoren
766	Universität Koblenz, Gebäude D (Mensa)	Universitätsstraße 1	56070	Koblenz	18.03.2005	17,6	Flachkollektoren
766	Universität Koblenz, Gebäude H (Sporthalle/Hausmeisterwhng.)	Universitätsstraße 1	56071	Koblenz	18.03.2005	17,6	Flachkollektoren
801	Fachhochschule Trier	Schneidershof 7	54293	Trier	01.04.2005	30,5	Flachkollektoren
121	Forstliches Bildungszentrum	In der Burgbitz 4	57627	Hachenburg	01.08.2005	22,1	Flachkollektoren
780	Deutsche Hochschule für Verwaltungswissenschaften	Freiherr-vom-Stein-Straße 2	67346	Speyer	01.09.2005	30,0	Flachkollektoren
688	Bereitschaftspolizei	Dekan-Laist-Straße 7	55129	Mainz	26.06.2006	32,6	Flachkollektoren
744	Justizvollzugsanstalt	Simmerner Straße 14a	56075	Koblenz	01.08.2006	27,8	Flachkollektoren

776	Universität Mainz-Germersheim	An der Hochschule 2	76711	Germersheim	10.08.2006	21,0	Flachkollektoren
767	Universität Landau (RPTU)	Fortstraße 7	76829	Landau	15.09.2006	52,6	Flachkollektoren
389	Polizeiinspektion	Hanns-Martin-Schleyer-Str.2	76744	Wörth	10.09.2007	16,0	Flachkollektoren
743	Justizvollzugsanstalt	Johann-Schwebel-Straße 33	66482	Zweibrücken	01.11.2007	180,0	Flachkollektoren
293	Forstdienstgebäude Büchelberg	Turmstraße 19	76744	Büchelberg	01.11.2009	7,1	Flachkollektoren
829	Polizeiinspektion Oppau	Friesenheimerstraße 55	67069	Ludwigshafen	07.10.2010	23,7	Flachkollektoren
766	Universität Koblenz Gebäude M	Universitätsstraße 1	56070	Koblenz	01.11.2011	50,0	Röhrenkollektor

Summe

862,3

Anlagenanzahl Solarthermie	Kollektorfläche
19	862 kW

Anhang 7: Biomasseanlagen in LBB-Liegenschaften

WE-Nr.	Bezeichnung Objekt	Straße	PLZ	Ort	Leistung	Baujahr /Inbetriebnahme	Bemerkung
219	Forstamt Wasgau, Dahn	Weissenburger Straße 15a	66994	Dahn	80 kW	2003	Holzpellets
487	Forstamt Gerolstein	Unter den Dolomiten 6	54568	Gerolstein	30 kW	2004	Holzpellets
488	ForstA Hillesheim	Lammersdorfer Straße	54576	Hillesheim	30 kW	2004	Holzpellets
48	Forstamt Idarwald-Alt- und Neubau	Hauptstraße 43	55624	Rhaunen	63 kW	2005+2016	Holzpellets
313	Forstamt Haardt, Landau	Westring 6	76829	Landau	45 kW	2005	Holzpellets
586	Forstamt Adenau	Bahnhofstraße 37	53518	Adenau	45 kW	2005	Holzpellets
50	Forstamt Bad Sobernheim	Felkestr. 12	55566	Bad Sobernheim	25 kW	2006	Holzpellets
121	Forstliches Bildungszentrum RLP	In der Burgbitz 4	57627	Hachenburg	150 kW	2006	Holzpellets
163	Forstamt Westrich, Pirmasens	Erlenbrunner Straße 177	66955	Pirmasens	45 kW	2007	Holzpellets
484	Forstamt Saarburg	Schadallerstr. 22	54439	Saarburg	30 kW	2008	Holzpellets
445	ForstA Hermeskeil	Koblenzerstraße 71	54411	Hermeskeil	100 kW	2009	Holz hackschnitzel
741	JVA Diez	Limburger Straße 122	65582	Diez	800 kW	2009	Holz hackschnitzel
295	Forstamt Bad Dürkheim	Kaiserslauterer Straße 343	67098	Bad Dürkheim	45 kW	2010	Holzpellets
86	Landesschule für Blinde und Sehbehinderte	Feldkircher Str. 100	56567	Neuwied	520 kW	2011	Holzpellets
745	Jugendstrafanstalt Schifferstadt	Rudolf-Diesel-Str. 15	67105	Schifferstadt	300 kW	2011	Holzpellets

312	Forstamt Kandel	Bahnhofstraße 28	76870	Kandel	40 kW	2012	Holzpellets
398	Forstamt Dhronnecken	Auf der Burg 1	54426	Dhronnecken	60 kW	2012	Holzpellets
423	Autobahnstation Schweich	Am Leinenhof	54338	Schweich	42 kW	2012	Holzpellets
105	Forstamt Rennerod	Hauptstraße 21	56477	Rennerod	35 kW	2013	Holzpellets
748	JVA Rohrbach, Außenstelle Wonsheim	Hof Iben, Außerhalb 8	55599	Wonsheim	150 kW	2014	Holzpellets
767	Universität Landau	Fortstraße 7	76829	Landau	300 kW	2015	Holzpellets
801	Hochschule Trier	Schneidershof	54208	Trier	800 kW	2015	Holzpellets
211	Forstamt Hinterweidenthal	Hauptstraße 3	66999	Hinterweidenthal	40 kW	2016	Holzpellets
355	Polizeiautobahnstation Ruchheim	Maxdorfer Str. 85	67071	Ludwigshafen	25 kW	2016	Holzpellets
				Summe	3.800 kW		

Anhang 8: Blockheizkraftwerke (BHKW) in LBB-Liegenschaften

WE	We_Bez	Strasse	PLZ	WE_Ort	Inbetrieb- nahmedatum	Repower	elektr. Leistung	Wärme- leistung
558	PI Remagen	In der Wässerscheid 34	53424	Remagen	05.09.2005	01.04.2016	5,5	12,5
530	PI Bendorf	Lohweg 34	56170	Bendorf	30.09.2005		5	12,3
232	ForschAnst f Waldökol.	Hauptstraße 16	67705	Trippstadt	22.12.2005		5,5	12,5
688	BePo Mainz	Dekan-Laist-Straße 7	55129	Mainz	27.04.2007		50	97
751	JVA Trier Außenstelle Saarburg	Im Hagen 5	54439	Saarburg	31.05.2007		5,5	12,5
107	PI Altenkirchen	Hochstraße 30	57610	Altenkirchen	24.10.2007		5	12,3
117	PI Hachenburg	Adolf-Münch-Weg 12	57627	Hachenburg	24.10.2007		5	12,3
767	Universität Koblenz-Landau	Fortstraße 7	67829	Landau	18.12.2007		50	100
97	Peter-Altmeier-Gymnasium	Humboldtstraße 6	56410	Montabaur	07.01.2009		50	97
189	PI Zweibrücken	Landauer Straße 67	66482	Zweibrücken	20.04.2010		5,5	12,5
412	Gehörlosenschule Trier	Am Trimmelter Hof 201	54296	Trier	13.08.2010		5,5	12,5
745	JSA Schifferstadt	Rudolf-Diesel-Straße 15	67105	Schifferstadt	10.02.2011		50	92
86	Blindenschule Neuwied	Feldkircher Straße 100	56567	Neuwied	19.05.2011		50	81
581	Landesfeuerwehrschule Koblenz	Lindenallee 41-43	56077	Koblenz	12.08.2011		50	81
791	FH Koblenz Campus Karthause	Konrad-Zuse-Straße 1	56075	Koblenz	07.09.2011		50	81
455	LUA IHIS Trier	Maximineracht 11 b	54295	Trier	07.11.2012		50	81
650	DLR RNH Oppenheim	Wormser Straße 111	55276	Oppenheim	14.01.2013		50	81
93	PI Montabaur	Koblenzer Straße 15	56410	Montabaur	25.03.2013		5,5	12,5
85	Gehörlosenschule Neuwied	Elisabethstraße 46-48	56564	Neuwied	28.10.2013		50	92

741	JVA Diez	Limburger Straße 122	65582	Diez	19.12.2013		50	92
451	LBB-Niederlassung Trier	Paulinstraße 58	54292	Trier	19.02.2014		22	49
186	PD Pirmasens	Wiesenstraße 6	66954	Pirmasens	07.05.2014		50	86
443	BePo Wittlich, 50 kW-2014	Zur Polizeischule	54516	Wittlich	09.07.2014		50	92
130	PI Betzdorf	Friedrichstraße 17	57518	Betzdorf	24.07.2014		6	15
801	Hochschule Trier	Schneidershof	54293	Trier	27.04.2015		50	81
168	Forstamt Kusel	Trierer Straße 106	66869	Kusel	10.08.2015		1	5,8
750	JVA Trier	Gottbillstraße 10	54294	Trier	02.11.2015		50	86
443	BePo Wittlich, 50 kW-2015	Zur Polizeischule	54516	Wittlich	02.12.2015		49,5	91,3
160	Heinrich-Heine-Gymnasium	Im Dunkeltälchen 65	67663	Kaiserslautern	06.01.2016		50	86
788	Campus Zweibrücken	Amerikastr. 1	66482	Zweibrücken	16.02.2016		50	86
752	JVA Wittlich	Trierer Landstraße 64	54516	Wittlich	17.03.2016		250	264
754	JVA Rohrbach	Peter-Caesar-Allee 1	55597	Wöllstein	07.04.2016		210	322
743	JVA Zweibrücken	Johann-Schwebel-Str. 33	66482	Zweibrücken	18.04.2016		50	86
788	Campus Zweibrücken	Amerikastr. 1	66482	Zweibrücken	08.03.2017		50	86
752	JVA Wittlich	Trierer Landstraße 64	54516	Wittlich	19.12.2017		99	173
828	PP Trier-Kürrenzer Str.	Kürrenzer Str. 3-5	54292	Trier	13.12.2018		50	92
467	Landesmuseum Trier	Weimarer Allee 1	54290	Trier	19.11.2020		50	92
408	Landgericht Trier	Justizstraße 2-6	54290	Trier	15.12.2020		50	92
							1.785,5	2.972,0

Anhang 9: Erzeugter Strom und erzeugte Wärme in Blockheizkraftwerken in LBB-Liegenschaften

BHKWs	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Erzeugte Wärme (kWh)	400.902	1.644.974	2.108.016	2.224.230	2.284.127	4.208.523	7.096.360	7.986.112	9.537.600	9.589.000
Erzeugter Strom (kWh)	190.984	891.420	1.153.175	1.190.118	1.203.161	2.214.916	3.663.409	4.483.826	5.112.100	5.139.700
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Erzeugte Wärme (kWh)	10.136.500	12.397.200	14.236.100	14.438.100	15.603.690	18.332.186	18.072.678	19.205.003	17.796.131	19.429.422
Erzeugter Strom (kWh)	5.392.600	6.832.600	7.778.400	7.882.900	8.662.949	10.251.156	10.217.931	10.516.834	10.188.265	10.800.554

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 festgeschrieben³ 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.

Die Angaben in diesem 15. Energiebericht weichen für die Berichtsjahre 2003 – 2019 von den bisher veröffentlichten Berechnungsergebnissen ab. Ursache dafür ist eine Revision der Energiebilanzierung, die in Rheinland-Pfalz nach ländereinheitlichen Vorgaben umgesetzt wurde.⁴

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 spaltenweise in 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

³ Siehe Energiestatistikgesetz (EnStatG) vom 06.03.2017.

⁴ Informationen zur Methodik und zur Revision der Energiebilanzen sind auf der Internetseite des LAK Energiebilanzen zu finden: <http://www.lak-energiebilanzen.de/methodik-der-energiebilanzen/> [Stand: 14.11.2023].

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) Verwendung (z. B. Rohbenzin) erfahren. Die rheinland-pfälzischen Energiebilanzen enthalten derzeit 25 – in sechs Gruppen zusammengefasste – Energieträger.

Zeilenweise ist die Energiebilanzmatrix 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 Europäischen 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). Aus-

gehend 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, Photovoltaik sowie der Kernenergie gibt es keinen einheitlichen Umrechnungsmaßstab wie den Heizwert. In diesen Fällen wird nach dem sogenannten Wirkungsgradprinzip vorgegangen. Zur Bewertung werden – angelehnt 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 10: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2020 in spezifischen Mengeneinheiten

Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2020 in spezifischen Mengeneinheiten		Zeile	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralölprodukte						
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ölkräfstoffe	Dieselkräfstoffe	Flugturbinenkräfstoff		
												1000 Tonnen	
Primär- energiebilanz	Gewinnung	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bezüge	2	58	8	30	136	166	14 14	961	1660	51	-	-
	Bestandsentnahmen	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energieaufkommen	4	58	8	30	136	166	14 14	961	1660	51	-	-
	Lieferungen	5	-	-	-	-	166	-	-	-	-	-	-
	Bestandsaufstockungen	6	1	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-
	Primärenergieverbrauch	7	58	8	30	135	-	14 14	961	1660	51	-	-
Umwandlungsbilanz	Umwandlungseinsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK (nur Strom)	12	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-
		Hochöfen, Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Umwandlungseinsatz insgesamt	20	38	-	-	16	-	-	-	-	-	-
	Umwandlungsausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK (nur Strom)	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)		28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)		29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hochöfen, Konverter		30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Raffinerien		31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sonstige Energieerzeuger		32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Umwandlungsausstoß insgesamt		33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungs- einrichtungen	Kokereien	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Steinkohlenbergbau, Braunkohlenbergbau	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Kraftwerke, Heizwerke	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Erdöl- und Erdgasgewinnung WZ (6)	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mineralölverarbeitung (einschl. Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken) (WZ (19))	38	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	
	Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	E.-Verbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	40	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	
Fackel- und Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	42	20	8	30	119	-	14 14	961	1660	51	-	
	Nichtenergetischer Verbrauch	43	-	-	-	32	-	14 14	-	-	-	-	
	Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Endenergieverbrauch nach Sektoren	Endenergieverbrauch	45	20	8	30	88	-	-	961	1660	51	-	
	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Druckerzeugn.; Vervielf. v. bsp. Ton-, Bild- u. Datentr.	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	52	19	-	-	6	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	54	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	
	Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	55	1	-	-	79	-	-	-	0	-	-	
	Metallerzeugung und -bearbeitung	56	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Metallerzeugnissen	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elek. u. opt. Erzeugn., u. elek. Ausrüstungen	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Maschinenbau	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen u. sonstiger Fahrzeugbau	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Übrige Wirtschaftszweige	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau, Gew. von Steinen und Erden	62	20	8	-	88	-	-	-	0	-	-	
	Schieneverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	18	-	-	
	Straßenverkehr	64	-	-	-	-	-	-	939	1488	-	-	
	Luftverkehr	65	-	-	-	-	-	-	1	-	51	-	
	Küsten- und Binnenschifffahrt	66	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	
	Verkehr insgesamt	67	-	-	-	-	-	-	940	1519	51	-	
	Haushalte	68	-	-	30	-	-	-	6	-	-	-	
	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	69	-	-	-	-	-	-	15	142	-	-	
	Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	70	-	-	30	-	-	-	21	142	-	-	

¹ Einschließlich ungekoppelte Erzeugung in Heizkraftwerken.
* z.T. eigene Berechnungen und Schätzungen des LAK Energiebilanzen

Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase	Erneuerbare Energieträger						Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile			
Heizöl		Petrolkoks	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	Terajoule						Mill. kWh	Terajoule							
-	-	-	-	-	17	839	2 694	27 378	9 527	47 901	3 822	-	-	-	-	12 936	4 157	116 352	1	
1110	9	30	251	82	71 536	-	-	-	-	-	-	5 953	246	-	-	-	-	523 917	2	
-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	26	-	53	3	
1110	9	30	251	82	71 553	839	2 694	27 378	9 527	47 918	3 822	5 953	246	12 962	4 157	-	-	640 322	4	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 282	5
1	0	-	1	0	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	302	6
1 109	9	30	250	82	71 553	839	2 694	27 378	9 527	47 471	3 822	5 953	246	12 962	4 157	-	-	632 738	7	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
0	-	-	-	0	3 644	0	-	-	-	5 177	-	-	1314	1812	-	-	-	-	21427	10
0	-	-	-	0	2 013	6	-	-	-	4 123	-	-	1434	853	-	-	-	-	14 238	11
0	-	-	-	-	10 271	-	-	-	-	1427	-	-	722	1476	1867	-	-	-	42 914	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
-	-	-	-	-	-	-	2 694	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 694	14
-	-	-	-	-	-	741	-	27 378	7 941	2 882	208	-	-	-	-	-	-	-	39 150	15
4	-	-	-	-	412	-	-	-	2	2 888	-	-	-	-	2 064	-	-	-	6 966	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
0	-	-	-	14	-	-	-	-	-	0	-	1	-	-	-	-	-	-	570	19
5	-	-	-	14	0	16 339	748	2 694	27 378	7 943	16 497	208	1	3 470	6 205	1867	-	127 960	20	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 561	-	-	-	-	-	-	22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1146	7 704	-	-	-	-	9 218	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 887	-	-	-	-	-	11828	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 391	25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	748	-	-	-	-	-	2 694	27
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10 202	276	-	-	-	-	-	37 003	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5 573	-	-	-	-	-	5 573	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	565	32
-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	22 544	13 553	-	-	-	-	95 274	33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	512	-	-	-	-	-	1843	36
-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	60	37
0	-	-	-	-	87	-	-	-	-	0	-	-	10	-	-	-	-	-	354	38
-	-	-	-	-	99	-	-	-	-	-	-	-	51	276	-	-	-	-	814	39
0	-	-	-	-	197	-	-	-	-	0	-	-	577	276	-	-	-	-	3 070	40
-	-	-	-	-	30	56	-	-	-	-	-	-	967	1785	-	-	-	-	5 429	41
1104	9	30	250	82	54 987	35	-	-	1584	30 974	3 614	26 952	8 268	6 756	2 290	-	-	591 553	42	
-	-	30	248	0	11 767	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	116 044	43
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 796	-	-	-	-	3 796	44
1104	9	-	2	82	43 221	35	-	-	1584	30 974	3 614	26 952	12 064	6 756	2 290	-	-	479 305	45	
1	-	-	-	0	76	-	-	-	-	2	-	-	96	-	-	-	-	-	721	46
6	-	-	-	0	1788	15	-	-	-	49	-	-	768	158	-	-	-	-	9 686	47
0	-	-	-	0	105	-	-	-	-	0	0	0	101	8	-	-	-	-	765	48
2	-	-	-	0	51	-	-	-	-	2 187	0	242	15	-	-	-	-	-	3 336	49
1	-	-	-	0	2 071	-	-	-	-	255	-	191	3 370	219	-	-	-	-	16 641	50
0	-	-	-	-	38	-	-	-	-	-	-	46	2	-	-	-	-	-	309	51
3	5	-	-	0	12 305	-	-	-	-	504	-	6 686	457	3 953	2 290	-	-	-	76 481	52
1	-	-	-	0	332	-	-	-	-	203	-	214	403	-	-	-	-	-	2 602	53
3	-	-	-	0	587	-	-	-	-	9	-	1359	196	-	-	-	-	-	7 357	54
3	-	-	-	1	2 594	-	-	-	-	68	-	1069	158	2 584	-	-	-	-	17 966	55
1	-	-	-	-	967	-	-	-	-	-	-	936	1070	-	-	-	-	-	8 185	56
3	-	-	0	1	458	-	-	-	-	-	5	0	474	36	-	-	-	-	3 572	57
1	-	-	-	0	65	-	-	-	-	1	1	157	8	-	-	-	-	-	855	58
3	-	-	0	1	281	-	-	-	-	92	1	353	71	-	-	-	-	-	2 608	59
2	-	-	-	0	276	0	-	-	-	6	-	302	178	-	-	-	-	-	2 348	60
1	-	-	-	0	43	-	-	-	-	158	1	75	22	-	-	-	-	-	676	61
31	5	-	0	4	22 037	16	-	-	-	3 541	3	14 069	6 153	6 756	2 290	-	-	-	153 108	62
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	-	427	-	-	-	-	-	-	2 380	63
-	-	-	-	8	25	-	-	-	-	7043	-	26	-	-	-	-	-	-	11916	64
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 261	65
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45	-	-	-	-	-	-	-	-	590	66
-	-	-	-	8	25	-	-	-	-	7 151	-	453	-	-	-	-	-	-	117 148	67
953	-	-	1	57	13 660	-	-	-	1517	16 261	3 312	6 837	2 413	-	-	-	-	-	141 436	68
120	4	-	-	13	7 499	19	-	-	67	4 022	300	5 593	3 499	-	-	-	-	-	67 614	69
1073	4	-	1	70	21 159	19	-	-	1584	20 282	3 611	12 430	5 911	-	-	-	-	-	209 049	70

Anhang 11: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2020 in Terajoule

Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2020 in Terajoule		Zeile	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralölprodukte					
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ölkraftstoffe	Dieselkraftstoffe	Flugturbinenkraftstoff	
												Terajoule
Primär- energiebilanz	Gewinnung	1	-	-	-	-	7 035	-	-	-	-	-
	Bezüge	2	1 508	242	588	2 988	-	62 225	41 840	70 814	2 201	-
	Bestandsentnahmen	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energieaufkommen	4	1 508	242	588	2 988	7 035	62 225	41 840	70 814	2 201	-
	Lieferungen	5	-	-	-	-	7 035	-	-	-	-	-
	Bestandsaufstockungen	6	22	-	-	4	-	-	-	0	-	-
	Primärenergieverbrauch	7	1 486	242	588	2 984	-	62 225	41 840	70 814	2 201	-
Umwandlungs- bilanz	Umwandlungseinsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	574	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK (nur Strom)	12	432	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	-	-	-	343	-	-	-	-	-
		Hochöfen, Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	0	-
		Umwandlungseinsatz insgesamt	20	1 006	-	-	343	-	-	-	0	-
	Umwandlungsausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK (nur Strom)	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)		28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)		29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hochöfen, Konverter		30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Raffinerien		31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sonstige Energieerzeuger		32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Umwandlungsausstoß insgesamt		33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungs- bilanz	Kokereien	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Steinkohlenbergbau, Braunkohlenbergbau	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Kraftwerke, Heizwerke	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Erdöl- und Erdgasgewinnung WZ (6)	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mineralölverarbeitung (einschl. Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken) (WZ (19))	38	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
	Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	E.-Verbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	40	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
	Fackel- und Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	42	481	242	588	2 641	-	62 225	41 840	70 814	2 201	
	Nichtenergetischer Verbrauch	43	-	-	-	703	-	62 225	-	-	-	
	Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Endenergieverbrauch nach Sektoren	Endenergieverbrauch	45	481	242	588	1 938	-	-	41 840	70 814	2 201	
	Gew. v. Steinen und Erden, sonstiger Bergbau u. Erbringung von Dienstleist.	46	-	-	-	54	-	-	-	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Druckerzeugn.; Vervielf. v. bsp. Ton-, Bild- u. Datentr.	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	52	443	-	-	129	-	-	-	-	-	
	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	54	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
	Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	55	37	-	-	1 755	-	-	-	2	-	
	Metallerzeugung und -bearbeitung	56	-	242	-	-	-	-	-	-	-	
	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	481	242	-	1 938	-	-	-	8	-	
	Straßenverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	779	-	
	Straßenverkehr	64	-	-	-	-	-	-	40 886	63 441	-	
	Luftverkehr	65	-	-	-	-	-	-	61	-	2 201	
	Küsten- und Binnenschifffahrt	66	-	-	-	-	-	-	-	546	-	
	Verkehr insgesamt	67	-	-	-	-	-	-	40 947	64 766	2 201	
	Haushalte	68	-	-	588	-	-	-	245	-	-	
	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	69	-	-	-	-	-	-	648	6 040	-	
	Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	70	-	-	588	-	-	-	893	6 040	-	

¹ Einschließlich ungekoppelte Erzeugung in Heizkraftwerken.

* z.T. eigene Berechnungen und Schätzungen des LAK Energiebilanzen

Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase		Erneuerbare Energieträger						Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile
Heizöl		Petrolkoks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Eröligas	Kürlgas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht biogen	Andere			
leicht	schwer																	
Terajoule																		
-	-	-	-	-	62	839	2 694	27 378	9 527	47 901	3 822	-	-	12 936	4 157	116 352	1	
47 515	374	945	9 907	3 564	257 530	-	-	-	-	-	-	21 431	246	-	-	523 917	2	
-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	26	-	53	3	
47 515	374	955	9 907	3 564	257 592	839	2 694	27 378	9 527	47 918	3 822	21 431	246	12 962	4 157	640 322	4	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	248	-	-	-	-	-	7 282	5	
31	1	-	42	3	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-	-	302	6	
47 484	373	955	9 865	3 561	257 592	839	2 694	27 378	9 527	47 471	3 822	21 431	246	12 962	4 157	632 738	7	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	
5	-	-	-	1	13 117	0	-	-	-	5 177	-	-	1314	1812	-	21 427	10	
0	-	-	-	2	7 245	6	-	-	-	4 123	-	-	1434	853	-	14 238	11	
13	-	-	-	-	36 976	-	-	-	-	1427	-	-	722	1476	1867	42 914	12	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	
-	-	-	-	-	-	-	2 694	-	-	-	-	-	-	-	-	2 694	14	
-	-	-	-	-	-	741	-	27 378	7 941	2 882	208	-	-	-	-	39 150	15	
186	-	-	-	-	1483	-	-	-	2	2 888	-	-	-	2 064	-	6 966	16	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	
2	-	-	-	3	-	-	-	-	-	0	-	3	-	-	-	570	19	
207	-	-	563	6	58 822	748	2 694	27 378	7 943	16 497	208	3	3 470	6 205	1867	127 960	20	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9 218	-	-	-	9 218	22	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4 124	7 704	-	-	11 828	23	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 391	-	-	-	28 391	24	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 694	-	-	-	2 694	27	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36 727	276	-	-	37 003	28	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5 573	-	-	5 573	29	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	
-	-	-	563	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	565	32	
-	-	-	563	-	-	-	-	-	-	-	-	81 158	13 553	-	-	95 274	33	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1843	-	-	-	1843	35	
-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	-	18	-	-	-	60	36	
5	-	-	-	-	313	-	-	-	0	-	-	35	-	-	-	354	37	
-	-	-	-	-	356	-	-	-	-	-	-	182	276	-	-	814	38	
5	-	-	-	-	710	-	-	-	0	-	-	2 079	276	-	-	3 070	39	
-	-	-	-	-	106	56	-	-	-	-	-	3 482	1 785	-	-	5 429	40	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	
47 272	373	955	9 865	3 555	197 954	35	-	-	1584	30 974	3 614	97 026	8 268	6 756	2 290	591 553	42	
-	-	955	9 801	0	42 359	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	116 044	43	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 796	-	-	3 796	44	
47 272	373	-	64	3 555	155 595	35	-	-	1584	30 974	3 614	97 026	12 064	6 756	2 290	479 305	45	
37	-	-	-	4	274	-	-	-	-	2	-	344	-	-	-	721	46	
243	-	-	-	19	6 437	15	-	-	-	49	-	2 764	158	-	-	9 686	47	
15	-	-	-	1	378	-	-	-	0	0	-	363	8	-	-	765	48	
73	-	-	-	3	185	-	-	-	2 187	0	-	872	15	-	-	3 336	49	
50	-	-	-	2	7 456	-	-	-	255	-	-	4 288	3 370	219	-	15 641	50	
3	-	-	-	-	138	-	-	-	-	-	-	166	2	-	-	309	51	
133	206	-	-	1	44 297	-	-	-	-	504	-	24 068	457	3 953	2 290	76 481	52	
28	-	-	-	3	1 195	-	-	-	-	203	-	770	403	-	-	2 602	53	
137	-	-	-	9	2 115	-	-	-	-	9	-	4 891	196	-	-	7 357	54	
125	-	-	-	47	9 339	-	-	-	-	68	-	3 850	158	2 584	-	17 966	55	
24	-	-	-	-	3 480	-	-	-	-	-	-	3 370	1070	-	-	8 185	56	
136	-	-	-	5	16 448	-	-	-	-	5	0	1 708	36	-	-	3 572	57	
45	-	-	-	2	234	-	-	-	-	1	-	563	8	-	-	855	58	
134	-	-	-	2	10 12	-	-	-	-	92	1	1 271	71	-	-	2 608	59	
80	-	-	-	3	992	0	-	-	-	6	-	1 089	178	-	-	2 348	60	
61	-	-	-	9	154	-	-	-	-	158	1	272	22	-	-	676	61	
1324	206	-	7	161	79 334	16	-	-	-	3 541	3	50 648	6 153	6 756	2 290	153 108	62	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	-	1 537	-	-	-	2 380	63	
-	-	-	-	363	89	-	-	-	-	7 043	-	94	-	-	-	111 916	64	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 261	65	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45	-	-	-	-	-	590	66	
-	-	-	-	363	89	-	-	-	-	7 151	-	1 631	-	-	-	117 148	67	
40 791	-	-	57	2 463	49 176	-	-	-	1517	16 261	3 312	24 614	2 413	-	-	141 436	68	
5 157	167	-	-	567	26 995	19	-	-	67	4 022	300	20 133	3 499	-	-	67 614	69	
45 948	167	-	57	3 030	76 172	19	-	-	1584	20 282	3 611	44 747	5 911	-	-	209 049	70	

Anhang 12: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2020 in Kilowattstunden

Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2020 in Millionen Kilowattstunden		Zeile	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralölprodukte						
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ölkraftstoffe	Dieselkraftstoffe	Flugturbinenkraftstoff		
												Mill. kWh	
Primär- energiebilanz	Gewinnung	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bezüge	2	419	67	163	830	-	17 285	11 622	19 671	611	-	-
	Bestandsentnahmen	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energieaufkommen	4	419	67	163	830	1954	17 285	11 622	19 671	611	-	-
	Lieferungen	5	-	-	-	-	1954	-	-	-	-	-	-
	Bestandsaufstockungen	6	6	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-
	Primärenergieverbrauch	7	413	67	163	829	-	17 285	11 622	19 671	611	-	-
Umwandlungsbilanz	Umwandlungseinsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und Kälteanlagen (ohne KWK) ¹	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	159	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und Kälteanlagen (nur Strom)	12	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	-	-	-	95	-	-	-	-	-	-
		Hochöfen, Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
		Umwandlungseinsatz insgesamt	20	279	-	-	95	-	-	-	-	0	-
	Umwandlungsausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und Kälteanlagen (ohne KWK) ¹	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und Kälteanlagen (nur Strom)	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Hochöfen, Konverter	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Raffinerien	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sonstige Energieerzeuger	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Umwandlungsausstoß insgesamt	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungs-	Kokereien	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlenbergbau, Braunkohlenbergbau	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kraftwerke, Heizwerke	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Erdöl- und Erdgasgewinnung WZ (6)	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Mineralölverarbeitung (einschl. Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken) (WZ (19))	38	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
		Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		E.-Verbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	40	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
		Fackel- und Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	42	134	67	163	734	-	17 285	11 622	19 670	611	-
		Nichtenergetischer Verbrauch	43	-	-	-	195	-	17 285	-	-	-	-
		Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Endenergieverbrauch nach Sektoren	Endenergieverbrauch	45	134	67	163	538	-	-	11 622	19 670	611	-
		Gew. v. Steinen und Erden, sonstiger Bergbau u. Erbringung von Dienstleist.	46	-	-	-	15	-	-	-	-	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus		50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Herstellung von Druckerzeugn.; Vervielf. v. bsp. Ton-, Bild- u. Datentr.		51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Herstellung von chemischen Erzeugnissen		52	123	-	-	36	-	-	-	-	-	-	
Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen		53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren		54	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden		55	10	-	-	487	-	-	-	-	0	-	
Metallerzeugung und -bearbeitung		56	-	67	-	-	-	-	-	-	-	-	
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	134	67	-	538	-	-	-	-	2	-	
Schienerverkehr		63	-	-	-	-	-	-	-	-	216	-	
Straßenverkehr		64	-	-	-	-	-	-	11 357	17 622	-	-	
Luftverkehr	65	-	-	-	-	-	-	17	-	611	-		
Küsten- und Binnenschifffahrt	66	-	-	-	-	-	-	-	-	152	-		
Verkehr insgesamt	67	-	-	-	-	-	-	11 374	17 990	611	-		
Haushalte	68	-	-	163	-	-	-	-	68	-	-		
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	69	-	-	-	-	-	-	-	180	1678	-		
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	70	-	-	163	-	-	-	-	248	1678	-		

¹ Einschließlich ungekoppelte Erzeugung in Heizkraftwerken.
* z.T. eigene Berechnungen und Schätzungen des LAK Energiebilanzen

Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase		Erneuerbare Energieträger					Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile
Heizöl		Petrolkoks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdölgas	Klärgas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht biogen	Andere		
leicht	schwer																
-	-	-	-	-	17	233	748	7605	2 646	13 306	1062	-	-	3 593	1 155	32 320	1
13 199	104	262	2 752	990	71 536	-	-	-	-	-	-	5 953	68	-	-	145 533	2
-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	7	-	15	3
13 199	104	265	2 752	990	71 553	233	748	7 605	2 646	13 311	1062	5 953	68	3 600	1 155	177 867	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	69	-	-	-	-	-	2 023	5
9	0	-	12	1	-	-	-	-	-	55	-	-	-	-	-	84	6
13 190	104	265	2 740	989	71 553	233	748	7 605	2 646	13 186	1062	5 953	68	3 600	1 155	175 760	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
2	-	-	-	0	3 644	0	-	-	-	1438	-	-	365	503	-	5 952	10
0	-	-	-	1	2 013	2	-	-	-	1 145	-	-	398	237	-	3 955	11
4	-	-	-	-	10 271	-	-	-	-	396	-	-	201	410	519	11 920	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
-	-	-	-	-	-	-	748	-	-	-	-	-	-	-	-	748	14
-	-	-	-	-	-	206	-	7 605	2 206	800	58	-	-	-	-	10 875	15
52	-	-	-	-	412	-	-	-	1	802	-	-	-	573	-	1 935	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
0	-	-	156	1	-	-	-	-	-	0	-	1	-	-	-	158	19
57	-	-	156	2	16 339	208	748	7 605	2 206	4 582	58	1	964	1 724	519	35 544	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 561	-	-	-	2 561	22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	146	2 140	-	-	3 286	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 887	-	-	-	7 887	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	748	-	-	-	748	26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10 202	77	-	-	10 279	27
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 548	-	-	1 548	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
-	-	-	156	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	157	31
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32
-	-	-	156	-	-	-	-	-	-	-	-	22 544	3 765	-	-	26 465	33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	512	-	-	-	512	35
-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	17	36
2	-	-	-	-	87	-	-	-	-	0	-	10	-	-	-	98	37
-	-	-	-	-	99	-	-	-	-	-	-	51	77	-	-	226	38
2	-	-	-	-	197	-	-	-	-	0	-	577	77	-	-	853	39
-	-	-	-	-	30	16	-	-	-	-	-	967	496	-	-	1 508	40
13 131	104	265	2 740	987	54 987	10	-	-	440	8 604	1004	26 952	2 297	1 877	636	164 320	41
-	-	265	2 722	0	11 767	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32 234	42
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10 55	-	10 55	43
13 131	104	-	18	987	43 221	10	-	-	440	8 604	1004	26 952	3 351	1 877	636	133 140	44
10	-	-	-	1	76	-	-	-	-	0	-	96	-	-	-	200	45
67	-	-	-	5	1 788	4	-	-	-	14	-	768	44	-	-	2 691	46
4	-	-	-	0	105	-	-	-	-	0	0	101	2	-	-	213	47
20	-	-	-	1	51	-	-	-	-	607	0	242	4	-	-	927	48
14	-	-	-	1	2 071	-	-	-	-	71	-	1191	936	61	-	4 345	49
1	-	-	-	-	38	-	-	-	-	-	-	46	0	-	-	86	50
37	57	-	-	0	12 305	-	-	-	-	140	-	6 686	127	1 098	636	21 245	51
8	-	-	-	1	332	-	-	-	-	57	-	214	12	-	-	723	52
38	-	-	-	3	587	-	-	-	-	3	-	1 359	54	-	-	2 043	53
35	-	-	-	13	2 594	-	-	-	-	19	-	1 069	44	718	-	4 991	54
7	-	-	-	-	967	-	-	-	-	-	-	936	297	-	-	2 274	55
38	-	-	1	9	458	-	-	-	-	1	0	474	10	-	-	992	56
13	-	-	-	0	65	-	-	-	-	0	0	157	2	-	-	237	57
37	-	-	1	7	281	-	-	-	-	26	0	353	20	-	-	724	58
22	-	-	-	1	276	0	-	-	-	2	-	302	49	-	-	652	59
17	-	-	-	2	43	-	-	-	-	44	0	75	6	-	-	188	60
368	57	-	2	45	22 037	4	-	-	-	984	1	14 069	1 709	1 877	636	42 530	61
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	-	427	-	-	-	661	62
-	-	-	-	101	25	-	-	-	-	1 956	-	26	-	-	-	31 088	63
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	628	64
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	164	65
-	-	-	-	101	25	-	-	-	-	1 987	-	453	-	-	-	32 541	66
11 331	-	-	16	684	13 660	-	-	-	421	4 517	920	6 837	670	-	-	39 288	67
1 433	46	-	-	158	7 499	5	-	-	19	1 117	83	5 593	972	-	-	18 782	68
12 763	46	-	16	842	21 159	5	-	-	440	5 634	1 003	12 430	1 642	-	-	58 069	69

Anhang 13: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2021 in spezifischen Mengeneinheiten

Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2021 in spezifischen Mengeneinheiten		Zeile	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralölprodukte					
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ottoerzeugnisse	Dieselkraftstoffe	Flugturbinenkraftstoff	
												1000 Tonnen
Primär- energiebilanz	Gewinnung	1	-	-	-	-	133	-	-	-	-	-
	Bezüge	2	66	10	31	135	-	1432	968	1679	49	
	Bestandsentnahmen	3	-	-	-	0	-	-	-	-	-	
	Energieaufkommen	4	66	10	31	135	133	1432	968	1679	49	
	Lieferungen	5	-	-	-	-	133	-	-	-	-	
	Bestandsaufstockungen	6	4	-	-	-	-	-	-	0	-	
	Primärenergieverbrauch	7	62	10	31	135	-	1432	968	1679	49	
Umwandlungs- einsetzung	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	10	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	19	-	-	-	-	-	-	-		
	Industriewärme- und KWK (nur Strom)	12	24	-	-	-	-	-	-	-		
	Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Wasserkraftwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	0	-	-	19	-	-	-	-		
	Hochöfen, Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Umwandlungseinsetzung insgesamt	20	44	-	-	19	-	-	-	-		
	Umwandlungs- ausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-		
		Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	23	-	-	-	-	-	-	-		
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-		
		Industriewärme- und KWK (nur Strom)	25	-	-	-	-	-	-	-		
		Kernkraftwerke	26	-	-	-	-	-	-	-		
Wasserkraftwerke		27	-	-	-	-	-	-	-			
Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)		28	-	-	-	-	-	-	-			
Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)		29	-	-	-	-	-	-	-			
Hochöfen, Konverter		30	-	-	-	-	-	-	-			
Raffinerien		31	-	-	-	-	-	-	-			
Sonstige Energieerzeuger		32	-	-	-	-	-	-	-			
Umwandlungsausstoß insgesamt		33	-	-	-	-	-	-	-			
Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungs- einrichtungen	Kokereien	34	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Steinkohlenbergbau, Braunkohlenbergbau	35	-	-	-	-	-	-	-			
	Kraftwerke, Heizwerke	36	-	-	-	-	-	-	-			
	Erdöl- und Erdgasgewinnung WZ (6)	37	-	-	-	-	-	-	-			
	Mineralölverarbeitung (einschl. Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken) (WZ (19))	38	-	-	-	-	-	-	0			
	Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	-			
	E.-Verbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	40	-	-	-	-	-	-	0			
Fackel- und Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-				
Energieangebot nach Umwandlungs- bilanz	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	42	19	10	31	116	-	1432	968	1679	49	
	Nichtenergetischer Verbrauch	43	-	-	-	30	-	1432	-	-		
	Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-		
Endenergieverbrauch nach Sektoren	Endenergieverbrauch	45	19	10	31	86	-	-	968	1679	49	
	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	-	-	-	-	-	-	-			
	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	50	-	-	-	-	-	-	-			
	Herstellung von Druckerzeugn.; Vervielf. v. bsp. Ton-, Bild- u. Datentr.	51	-	-	-	-	-	-	-			
	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	52	12	-	-	9	-	-	-			
	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	53	-	-	-	-	-	-	-			
	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	54	-	-	-	-	-	-	0			
	Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	55	7	-	-	75	-	-	0			
	Metallerzeugung und -bearbeitung	56	-	10	-	-	-	-	-			
	Herstellung von Metallerzeugnissen	57	-	-	-	-	-	-	0			
	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	19	10	-	86	-	-	-	0		
	Schienerverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	19		
	Straßenverkehr	64	-	-	-	-	-	-	946	1505		
	Luftverkehr	65	-	-	-	-	-	-	1	0	49	
	Küsten- und Binnenschifffahrt	66	-	-	-	-	-	-	-	12		
	Verkehr insgesamt	67	-	-	-	-	-	-	947	1536	49	
	Haushalte	68	0	-	31	-	-	-	6	-		
	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	69	0	-	-	-	-	-	15	143		
	Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	70	0	-	31	-	-	-	21	143		

¹ Einschließlich ungekoppelte Erzeugung in Heizkraftwerken.
* z.T. eigene Berechnungen und Schätzungen des LAK Energiebilanzen

Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase		Erneuerbare Energieträger					Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile		
Heizöl		Petrolkoks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdflüchtig	Klärgas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht brennend	Andere				
leicht	schwer																		
1000 Tonnen					Mill. kWh		Terajoule					Mill. kWh				Terajoule			
-	-	-	-	-	17	821	3 509	23 476	9 431	51961	4 197	-	-	-	-	18 006	1		
851	6	43	248	84	75 770	-	-	-	-	-	-	7 825	286	-	4 808	536 921	2		
-	-	-	9	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-	451	3		
851	6	43	257	84	75 788	821	3 509	23 476	9 431	51961	4 197	7 825	286	14 110	4 808	655 378	4		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1998	-	-	-	-	-	7 650	5		
3	0	6	-	-	-	-	-	-	-	153	-	-	-	2	-	535	6		
848	6	38	257	84	75 788	821	3 509	23 476	9 431	49 810	4 197	7 825	286	14 107	4 808	647 193	7		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9		
0	-	-	-	-	1799	-	-	-	-	4 426	-	-	880	1916	-	13 698	10		
0	-	-	-	0	2 729	11	-	-	-	4 111	-	-	1499	1241	-	17 257	11		
0	-	-	-	-	10 956	-	-	-	-	1590	-	-	680	1280	1653	45 221	12		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13		
-	-	-	-	-	-	-	3 509	-	-	-	-	-	-	-	-	3 509	14		
-	-	-	-	-	-	720	-	23 476	7 916	3 223	111	-	-	-	-	35 447	15		
9	-	-	-	-	871	-	-	-	2	4 531	-	-	-	1900	-	10 359	16		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18		
-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	0	-	1	-	-	0	637	19		
10	-	-	16	0	16 354	731	3 509	23 476	7 918	17 881	111	1	3 059	6 338	1653	126 127	20		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1570	-	-	-	5 654	22		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1381	9 195	-	-	14 165	23		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 295	-	-	-	29 862	24		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	975	-	-	-	3 509	26		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9 136	262	-	-	33 151	27		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9 389	-	-	9 389	28		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30		
-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	631	31		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21357	18 846	-	-	96 360	32		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	528	-	-	-	1901	35		
-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	36	36		
0	-	-	-	-	90	-	-	-	-	0	-	10	-	-	-	369	37		
-	-	-	-	-	99	-	-	-	-	-	-	49	262	-	-	793	38		
0	-	-	-	-	195	-	-	-	-	0	-	591	262	-	-	3 099	39		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40		
-	-	-	-	-	13	56	-	-	-	-	-	863	2 307	-	-	5 518	41		
838	6	38	257	84	59 226	35	-	-	1513	31929	4 085	27 727	13 505	7 769	3 155	608 810	42		
-	-	36	255	0	12 102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	118 394	43		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 817	-	-	2 817	44		
838	6	1	2	84	47 123	35	-	-	1513	31929	4 085	27 727	16 322	7 769	3 155	493 234	45		
1	-	-	-	0	90	-	-	-	-	2	-	99	-	-	-	778	46		
6	-	-	-	0	1777	13	-	-	-	55	-	782	39	-	-	9 598	47		
0	-	-	-	-	109	-	-	-	-	0	0	109	6	-	-	807	48		
2	-	-	-	0	58	-	-	-	-	2 284	0	267	82	-	-	3 608	49		
1	-	-	-	0	1674	-	-	-	0	217	-	182	4 202	322	-	15 087	50		
0	-	-	-	-	42	-	-	-	-	0	-	42	1	-	-	305	51		
3	6	-	-	0	12 928	-	-	-	-	289	-	6 755	629	4 681	3 155	80 434	52		
1	-	-	-	0	317	-	-	-	-	512	-	203	302	-	-	2 720	53		
3	-	-	-	0	632	-	-	-	-	9	0	1424	168	-	-	7 735	54		
3	-	1	-	2	2 719	-	-	-	-	65	-	1148	172	2 766	-	19 003	55		
1	-	-	-	-	1030	-	-	-	-	-	-	979	1129	-	-	8 681	56		
3	-	-	0	1	483	-	-	-	-	5	0	501	43	-	-	3 788	57		
1	-	-	-	0	74	-	-	-	-	1	1	167	9	-	-	934	58		
3	-	-	0	1	333	-	-	-	-	58	2	392	47	-	-	2 876	59		
2	-	-	-	0	304	0	-	-	-	7	0	312	227	-	-	2 539	60		
2	-	-	-	0	53	-	-	-	-	149	1	73	24	-	-	700	61		
32	6	1	0	5	22 622	13	-	-	1	3 652	5	14 435	7 082	7 769	3 155	159 595	62		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57	-	408	-	-	-	2 325	63		
-	-	-	-	10	32	-	-	-	-	6 213	-	57	-	-	-	12 326	64		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 150	65		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	-	-	-	-	-	563	66		
-	-	-	-	10	32	-	-	-	-	6 309	-	464	-	-	-	117 364	67		
731	-	-	2	57	15 875	-	-	-	1449	17 495	3 734	7 363	3 106	-	-	144 168	68		
75	-	-	-	12	8 594	21	-	-	63	4 474	347	5 465	6 134	-	-	72 107	69		
806	-	-	2	69	24 469	21	-	-	1512	21 969	4 081	12 827	9 240	-	-	216 275	70		

Anhang 14: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2021 in Terajoule

Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2021 in Terajoule		Zeile	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralölprodukte					
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ölkraftstoffe	Dieselkraftstoffe	Flugturbinenkraftstoff	
												Terajoule
Primärenergiebilanz	Gewinnung	1	-	-	-	-	5 652	-	-	-	-	-
	Bezüge	2	1649	295	610	2 968	-	63 010	42 139	71 602	2 105	-
	Bestandsentnahmen	3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
	Energieaufkommen	4	1649	295	610	2 971	5 652	63 010	42 139	71 602	2 105	-
	Lieferungen	5	-	-	-	-	5 652	-	-	-	-	-
	Bestandsaufstockungen	6	81	-	-	-	-	-	-	0	-	-
	Primärenergieverbrauch	7	1567	295	610	2 971	-	63 010	42 139	71 602	2 105	-
Umwandlungsbilanz	Umwandlungseinsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	568	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärmeleistung (nur Strom)	12	589	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	3	-	-	403	-	-	-	-	-
		Hochöfen, Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	0	-
		Umwandlungseinsatz insgesamt	20	1130	-	-	403	-	-	-	0	-
	Umwandlungsausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärmeleistung (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	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
	Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	E.-Verbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	40	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
	Fackel- und Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Energieangebot	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	42	437	295	610	2 568	-	63 010	42 139	71 601	2 105	
	Nichtenergetischer Verbrauch	43	-	-	-	674	-	63 010	-	-	-	
	Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Endenergieverbrauch nach Sektoren	Endenergieverbrauch	45	437	295	610	1894	-	-	42 139	71 601	2 105	
	Gew. v. Steinen und Erden, sonstiger Bergbau u. Erbringung von Dienstleist.	46	-	-	-	49	-	-	-	7	-	
	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Druckerzeugn.; Vervielf. v. bsp. Ton-, Bild- u. Datentr.	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	52	267	-	-	190	-	-	-	-	-	
	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	54	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
	Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	55	168	-	-	1 654	-	-	-	2	-	
	Metallerzeugung und -bearbeitung	56	-	295	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Metallerzeugnissen	57	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
	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	436	295	-	1 894	-	-	-	9	-	
	Schienerverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	800	-	
	Straßenverkehr	64	-	-	-	-	-	-	41 187	64 179	-	
Luftverkehr	65	-	-	-	-	-	-	42	2	2 105		
Küsten- und Binnenschifffahrt	66	-	-	-	-	-	-	-	525	-		
Verkehr insgesamt	67	-	-	-	-	-	-	41 229	65 507	2 105		
Haushalte	68	1	-	610	-	-	-	250	-	-		
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	69	1	-	-	-	-	-	659	6 086	-		
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	70	1	-	610	-	-	-	909	6 086	-		

¹ Einschließlich ungekoppelte Erzeugung in Heizkraftwerken.
² T. eigene Berechnungen und Schätzungen des LAK Energiebilanzen

Mineralöle und Mineralölprodukte				Gase		Erneuerbare Energieträger						Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile
Heizöl		Petrolieks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdölgas	Klärgas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht-biogen	Andere		
leicht	schwer																
Terajoule																	
-	-	-	-	-	63	821	3 509	23 476	9 431	51961	4 197	-	-	14 088	4 808	118 006	1
36 418	253	1280	9 737	3 623	272 773	-	-	-	-	-	-	28 171	286	-	-	536 921	2
-	-	-	425	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-	451	3
36 418	253	1280	10 163	3 624	272 836	821	3 509	23476	9 431	51961	4 197	28 171	286	14 110	4 808	655 378	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1998	-	-	-	-	-	7 650	5
132	4	162	-	-	-	-	-	-	-	153	-	-	-	2	-	535	6
36 286	249	1118	10 163	3 624	272 836	821	3 509	23 476	9 431	49 810	4 197	28 171	286	14 107	4 808	647 193	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
0	-	-	-	-	6 475	-	-	-	-	4 426	-	-	880	1916	-	13 698	10
0	-	-	-	2	9 825	11	-	-	-	4 111	-	-	1499	1241	-	17 257	11
17	-	-	-	-	39 441	-	-	-	-	1590	-	-	680	1280	1653	45 221	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
-	-	-	-	-	-	-	3 509	-	-	-	-	-	-	-	-	3 509	14
-	-	-	-	-	-	720	-	23 476	7 916	3 223	111	-	-	-	-	35 447	15
386	-	-	-	-	3 134	-	-	-	2	4 531	-	-	-	1900	-	10 359	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
-	-	-	629	3	-	-	-	-	-	0	-	4	-	-	0	637	19
404	-	-	629	6	58 875	731	3 509	23 476	7 918	17 881	111	4	3 059	6 338	1653	126 127	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5 654	-	-	-	5 654	22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4 970	9 195	-	-	14 165	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29 862	-	-	-	29 862	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 509	-	-	-	3 509	26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32 889	262	-	-	33 151	27
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9 389	-	-	9 389	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
-	-	-	629	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	631	31
-	-	-	629	-	-	-	-	-	-	-	-	76 885	18 846	-	-	96 360	32
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1901	-	-	-	1901	35
-	-	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	36	36
7	-	-	-	-	324	-	-	-	-	0	-	37	-	-	-	369	37
-	-	-	-	-	355	-	-	-	-	-	-	176	262	-	-	793	38
7	-	-	-	-	701	-	-	-	-	0	-	2 127	262	-	-	3 099	39
-	-	-	-	-	48	56	-	-	-	-	-	3 107	2 307	-	-	5 518	40
35 875	249	1118	10 163	3 619	213 212	35	-	-	1513	31929	4 085	99 818	13 505	7 769	3 155	608 810	41
-	-	1072	10 069	0	43 568	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	118 394	42
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 817	-	-	2 817	43
35 875	249	46	93	3 619	169 644	35	-	-	1513	31929	4 085	99 818	16 322	7 769	3 155	493 234	44
38	-	-	-	5	322	-	-	-	-	2	-	356	-	-	-	778	45
259	-	-	-	22	6 397	13	-	-	-	55	-	2 815	39	-	-	9 598	46
15	-	-	-	-	393	-	-	-	-	0	0	392	6	-	-	807	47
71	-	-	-	3	208	-	-	-	-	2 284	0	961	82	-	-	3 608	48
64	-	-	-	2	6 026	-	-	-	0	217	-	4 254	4 202	322	-	16 087	49
3	-	-	-	-	150	-	-	-	-	0	-	150	1	-	-	305	50
113	249	-	-	1	46 540	-	-	-	-	289	-	24 319	629	4 681	3 155	80 434	51
28	-	-	-	3	143	-	-	-	-	512	-	732	302	-	-	2 720	52
146	-	-	-	10	2 274	-	-	-	-	9	0	5 128	168	-	-	7 735	53
134	-	46	-	71	9 790	-	-	-	-	65	-	4 134	172	2 766	-	19 003	54
25	-	-	-	-	3 706	-	-	-	-	-	-	3 525	1 129	-	-	8 681	55
141	-	-	6	50	1740	-	-	-	-	5	0	1803	43	-	-	3 788	56
50	-	-	-	2	268	-	-	-	-	1	1	603	9	-	-	934	57
123	-	-	3	30	1200	-	-	-	1	58	2	1411	47	-	-	2 876	58
85	-	-	-	4	1093	0	-	-	-	7	0	1 123	227	-	-	2 539	59
65	-	-	-	10	189	-	-	-	-	149	1	262	24	-	-	700	60
1360	249	46	9	213	81440	13	-	-	1	3 652	5	51967	7 082	7 769	3 155	159 595	61
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57	-	1467	-	-	-	2 325	62
-	-	-	-	426	116	-	-	-	-	6 213	-	205	-	-	-	112 326	63
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 150	64
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	-	-	-	-	-	563	65
-	-	-	-	426	116	-	-	-	-	6 309	-	1 672	-	-	-	117 364	66
31318	-	-	85	2 465	57 151	-	-	-	1449	17 495	3 734	26 505	3 106	-	-	144 168	67
3 197	-	-	-	514	30 938	21	-	-	63	4 474	347	19 674	6 134	-	-	72 107	68
34 515	-	-	85	2 979	88 088	21	-	-	1512	21969	4 081	46 179	9 240	-	-	216 275	69

Anhang 15: Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2021 in Kilowattstunden

Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2021 in Millionen Kilowattstunden		Zelle	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralölprodukte					
			Kohle (roh)	Koks	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Ottoerzeugnisse	Dieselkraftstoffe	Flugturbinenkraftstoff	
												Mill. kWh
Primär- energiebilanz	Gewinnung	1	-	-	-	-	1570	-	-	-	-	-
	Bezüge	2	458	82	169	825	-	17 503	11 705	19 889	585	-
	Bestandsentnahmen	3	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
	Energieaufkommen	4	458	82	169	825	1570	17 503	11 705	19 889	585	-
	Lieferungen	5	-	-	-	-	1570	-	-	-	-	-
	Bestandsaufstockungen	6	23	-	-	-	-	-	-	0	-	-
	Primärenergieverbrauch	7	435	82	169	825	-	17 503	11 705	19 889	585	-
Umwandlungsbilanz	Umwandlungseinsatz	Kokereien	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	11	158	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK (nur Strom)	12	155	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)	16	1	-	-	112	-	-	-	-	-
		Hochöfen, Konverter	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
	Umwandlungseinsatz insgesamt	20	314	-	-	112	-	-	-	-	0	
	Umwandlungsausstoß	Kokereien	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Steinkohlen- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wärme- und KWK der allgemeinen Versorgung (ohne KWK) ¹	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Industriewärme- und KWK (nur Strom)	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kernkraftwerke	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Wasserkraftwerke	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Windkraft-, Photovoltaik- und andere Anlagen (der Erneuerb. Energieerzeugung)		28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Heizwerke (einschl. Wärmeabgabe aus IKW u. ungekoppelte Wärme aus HKW)		29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hochöfen, Konverter		30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Raffinerien	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Sonstige Energieerzeuger	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Umwandlungsausstoß insgesamt	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungs- einrichtungen	Kokereien	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Steinkohlenbergbau, Braunkohlenbergbau	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Kraftwerke, Heizwerke	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Erdöl- und Erdgasgewinnung WZ (6)	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mineralölverarbeitung (einschl. Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken) (WZ (19))	38	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
	Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	E.-Verbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	40	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
	Fackel- und Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	42	121	82	169	713	-	17 503	11 705	19 889	585	
	Nichtenergetischer Verbrauch	43	-	-	-	187	-	17 503	-	-	-	
	Statistische Differenzen	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Endenergieverbrauch nach Sektoren	Endenergieverbrauch	45	121	82	169	526	-	-	11 705	19 889	585	
	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Druckerzeugn.; Vervielf. v. besp. Ton-, Bild- u. Datentr.	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	52	74	-	-	53	-	-	-	-	-	
	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	54	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
	Herstellung von Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	55	47	-	-	459	-	-	-	1	-	
	Metallerzeugung und -bearbeitung	56	-	82	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Metallerzeugnissen	57	-	-	-	-	-	-	-	0	-	
	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elek. u. opt. Erzeugn., u. elek. Ausrüstungen	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Maschinenbau	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenanteilen u. sonstiger Fahrzeugbau	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Übrige Wirtschaftszweige	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau, Gew. von Steinen und Erden	62	121	82	-	526	-	-	-	2	-	
	Schienerverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	222	-	
	Straßenverkehr	64	-	-	-	-	-	-	11 441	17 827	-	
	Luftverkehr	65	-	-	-	-	-	-	12	1	585	
	Küsten- und Binnenschifffahrt	66	-	-	-	-	-	-	-	146	-	
	Verkehr insgesamt	67	-	-	-	-	-	-	11 453	18 196	585	
	Haushalte	68	0	-	169	-	-	-	69	-	-	
	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	69	0	-	-	-	-	-	183	1690	-	
	Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	70	0	-	169	-	-	-	253	1690	-	

¹ Einschließlich ungekoppelte Erzeugung in Heizkraftwerken.

* z.T. eigene Berechnungen und Schätzungen des LAK Energiebilanzen

Mineralöle und Mineralölprodukte					Gase		Erneuerbare Energieträger					Strom u. Sonstige Energieträger				Insgesamt	Zeile
Heizöl		Petrolkoks	Andere Mineralölprodukte	Flüssiggas	Erdgas, Erdölgas	Küchergas, Deponiegas	Wasserkraft	Windkraft	Solarenergie	Biomasse	Sonstige erneuerbare Energien	Strom	Fernwärme	Abfälle, nicht biogen	Andere		
leicht	schwer																
Mill. kWh																	
-	-	-	-	-	17	228	975	6 521	2 620	14 434	1 166	-	-	3 913	1336	32 779	1
10 116	70	356	2 705	1006	75 770	-	-	-	-	-	-	7 825	80	-	-	149 145	2
-	-	-	118	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	125	3
10 116	70	356	2 823	1007	75 788	228	975	6 521	2 620	14 434	1 166	7 825	80	3 919	1336	182 049	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	555	-	-	-	-	-	2 125	5
37	1	45	-	-	-	-	-	-	-	42	-	-	-	1	-	149	6
10 080	69	311	2 823	1007	75 788	228	975	6 521	2 620	13 836	1 166	7 825	80	3 919	1336	179 776	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
0	-	-	-	-	1799	-	-	-	-	1230	-	-	244	532	-	3 805	10
0	-	-	-	1	2 729	3	-	-	-	142	-	-	4 16	345	-	4 793	11
5	-	-	-	-	10 956	-	-	-	-	442	-	-	189	356	459	12 561	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
-	-	-	-	-	-	-	975	-	-	-	-	-	-	-	-	975	14
-	-	-	-	-	-	200	-	6 521	2 199	895	31	-	-	-	-	9 846	15
107	-	-	-	-	871	-	-	-	1	1259	-	-	-	528	-	2 878	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
-	-	-	175	1	-	-	-	-	-	0	-	1	-	-	0	177	19
112	-	-	175	2	16 354	203	975	6 521	2 200	4 967	31	1	850	1761	459	35 035	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1570	-	-	-	1570	22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1381	2 554	-	-	3 935	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 295	-	-	-	8 295	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	975	-	-	-	975	26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9 136	73	-	-	9 209	27
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 608	-	-	2 608	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
-	-	-	175	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	175	31
-	-	-	175	-	-	-	-	-	-	-	-	21357	5235	-	-	26 767	32
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	528	-	-	-	528	35
-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	10	36
2	-	-	-	-	90	-	-	-	-	0	-	10	-	-	-	102	37
-	-	-	-	-	99	-	-	-	-	-	-	49	73	-	-	220	38
2	-	-	-	-	195	-	-	-	-	0	-	591	73	-	-	861	39
-	-	-	-	-	13	15	-	-	-	-	-	863	641	-	-	1533	40
9 965	69	311	2 823	1005	59 226	10	-	-	420	8 869	1 135	27 727	3 751	2 158	876	169 114	41
-	-	298	2 797	0	12 102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32 887	42
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	783	-	-	783	43
9 965	69	13	26	1005	47 123	10	-	-	420	8 869	1 135	27 727	4 534	2 158	876	137 009	44
10	-	-	-	1	90	-	-	-	-	0	-	99	-	-	-	2 166	45
72	-	-	-	6	1777	4	-	-	-	15	-	782	11	-	-	2 666	46
4	-	-	-	-	109	-	-	-	-	0	0	109	2	-	-	224	47
20	-	-	-	1	58	-	-	-	-	634	0	267	23	-	-	1002	48
18	-	-	-	1	1674	-	-	-	0	60	-	1 182	1 167	89	-	4 191	49
1	-	-	-	-	42	-	-	-	-	0	-	42	0	-	-	85	50
31	69	-	-	0	12 928	-	-	-	-	80	-	6 755	175	1300	876	22 343	51
8	-	-	-	1	317	-	-	-	-	142	-	203	84	-	-	756	52
41	-	-	-	3	632	-	-	-	-	3	0	1424	47	-	-	2 149	53
37	-	13	-	20	2 719	-	-	-	-	18	-	1 148	48	768	-	5 279	54
7	-	-	-	-	1030	-	-	-	-	-	-	979	314	-	-	2 411	55
39	-	-	2	14	483	-	-	-	-	1	0	501	12	-	-	1 052	56
14	-	-	-	0	74	-	-	-	-	0	0	167	3	-	-	259	57
34	-	-	1	8	333	-	-	-	0	16	1	392	13	-	-	799	58
24	-	-	-	1	304	0	-	-	-	2	0	312	63	-	-	705	59
18	-	-	-	3	53	-	-	-	-	41	0	73	7	-	-	194	60
378	69	13	2	59	22 622	4	-	-	0	1044	1	14 435	1967	2 158	876	44 332	61
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	408	-	-	-	646	62
-	-	-	-	118	32	-	-	-	-	1726	-	57	-	-	-	31202	63
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	597	64
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	157	65
-	-	-	-	118	32	-	-	-	-	1752	-	464	-	-	-	32 601	66
8 699	-	-	23	685	15 875	-	-	-	402	4 860	1037	7 363	863	-	-	40 047	67
888	-	-	-	143	8 594	6	-	-	18	1243	96	5 465	1704	-	-	20 030	68
9 587	-	-	23	828	24 469	6	-	-	420	6 102	1 134	12 827	2 567	-	-	60 076	69

Anhang 16: 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 17: Satellitenbilanz „Erneuerbare Energieträger“ 2020

Berechnungsstand: September 2022		Wasserkraft	Windkraft	Biomasse						Solarenergie			Klärgas	Deponiegas	Sonstige erneuerbare Energieträger ¹	Erneuerbare Energieträger			
				zusammen	Feste biogene Stoffe	Biogener Anteil des Abfalls	Biogene Kraftstoffe	Flüssige biogene Stoffe	Biogas, Biomethan	Klärschlamm	zusammen	Fotovoltaik				Solarthermie	insgesamt	Anteil an allen Energieträgern	
																			Terajoule
PRIMÄR-ENERGIEBILANZ	Gewinnung	2 694	27 378	47 901	28 076	5 009	7 912	185	5 518	1 201	9 527	7 941	1 586	766	73	3 822	92 162	79,2	
	Bezüge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Bestandsentnahmen	-	-	17	-	2	-	15	-	-	1	-	-	-	-	-	-	17	32,0
	Energieaufkommen	2 694	27 378	47 918	28 076	5 011	7 912	199	5 518	1 202	9 527	7 941	1 586	766	73	3 822	92 179	14,4	
	Lieferungen	-	-	248	-	-	248	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	248	3,4
	Bestandsaufstockungen	-	-	200	200	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	66,1
	Primärenergieverbrauch	2 694	27 378	47 471	27 876	5 011	7 665	199	5 518	1 202	9 527	7 941	1 586	766	73	3 822	91 732	14,5	
UMWANDLUNGSBILANZ	Wärmeleistung der allgemeinen Versorgung (ohne KWK)	-	-	5 177	3 203	1 812	-	27	133	1	-	-	-	0	-	-	5 177	24,2	
	Heizleistung der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	-	-	4 123	1 082	853	-	132	2 048	8	-	-	-	6	-	-	4 130	29,0	
	Industriewärmeleistung	-	-	1 427	617	138	-	-	58	614	-	-	-	-	-	-	1 427	3,3	
	Wasserkraftwerke	2 694	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 694	100,0	
	Windkraft-, Fotovoltaik- und andere Anlagen	-	27 378	2 882	-	-	-	-	2 869	13	7 941	7 941	-	668	73	208	39 150	100,0	
	Heizwerke	-	-	2 888	508	2 064	-	34	281	2	2	-	2	-	-	-	2 891	41,5	
	Sonstige Energieerzeuger	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0	
	Umwandlungseinsatz insgesamt	2 694	27 378	16 497	5 410	4 867	0	193	5 389	638	7 943	7 941	2	675	73	208	55 469	43,3	
	Umwandlungsausstoß insgesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0
Fackel- und Leitungsverluste	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	-	-	-	56	1,0	
Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	-	-	30 974	22 466	144	7 664	7	130	564	1 584	-	1 584	35	-	3 614	36 207	6,1		
Nichtenergetischer Verbrauch	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Statistische Differenzen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ENDENERGIE-VERBRAUCH	Endenergieverbrauch	-	-	30 974	22 466	144	7 664	7	130	564	1 584	-	1 584	35	-	3 614	36 207	7,6	
	Gew. Steine u. Erden, sonst. Bergbau, Verarbeitendes Gewerbe insgesamt	-	-	3 541	2 696	144	1	7	130	564	-	-	-	16	-	3	3 559	2,3	
	Verkehr insgesamt	-	-	7 151	-	-	7 151	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 151	6,1	
	Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen u. übrige Verbraucher	-	-	20 282	19 770	-	512	-	-	-	1 584	-	1 584	19	-	3 611	25 496	12,2	

¹Geothermie, Umweltwärme (Wärmepumpe).

Anhang 18: Satellitenbilanz „Erneuerbare Energieträger“ 2021

Berechnungsstand: Juni 2023		Wasserkraft	Windkraft	Biomasse							Solarenergie			Klärgas	Deponiegas	Sonstige erneuerbare Energieträger ¹	Erneuerbare Energieträger		
				zusammen	Feste biogene Stoffe	Biogener Anteil des Abfalls	Biogene Kraftstoffe	Flüssige biogene Stoffe	Biogas, Biomethan	Klärschlamm	zusammen	Fotovoltaik	Solarthermie				ins-gesamt	Anteil an allen Energieträgern	
																			Terajoule
PRIMÄR-ENERGIEBILANZ	Gewinnung	3 509	23 476	51 961	31 271	5 260	8 820	200	5 280	1 130	9 431	7 916	1 515	740	81	4 197	93 395	79,1	
	Bezüge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Bestandsentnahmen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	
	Energieaufkommen	3 509	23 476	51 961	31 271	5 260	8 820	200	5 280	1 130	9 431	7 916	1 515	740	81	4 197	93 395	14,3	
	Lieferungen	-	-	1 998	-	-	1 998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 998	26,1
	Bestandsaufstockungen	-	-	153	150	2	0	0	-	0	-	-	-	-	-	-	-	153	28,5
Primärenergieverbrauch	3 509	23 476	49 810	31 121	5 258	6 822	200	5 280	1 130	9 431	7 916	1 515	740	81	4 197	91 245	14,1		
UMWANDLUNGSBILANZ	Wärmeerkerte der allgemeinen Versorgung (ohne KWK)	-	-	4 426	2 332	1 916	-	29	147	2	-	-	-	-	-	-	4 426	32,3	
	Heizwerkerte der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	-	-	4 111	1 110	1 241	-	144	1 608	8	-	-	-	11	-	-	4 122	23,9	
	Industriewärmeerkerte	-	-	1 590	661	104	-	-	57	768	-	-	-	-	-	-	1 590	3,5	
	Wasserkraftwerke	3 509	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 509	100,0	
	Windkraft-, Fotovoltaik- und andere Anlagen	-	23 476	3 223	-	-	-	-	3 215	8	7 916	7 916	-	640	81	111	35 447	100,0	
	Heizwerke	-	-	4 531	2 488	1 900	-	22	119	1	2	-	2	-	-	-	4 533	43,8	
	Sonstige Energieerzeuger	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0
	Umwandlungseinsatz insgesamt	3 509	23 476	17 881	6 590	5 162	0	195	5 147	787	7 918	7 916	2	650	81	111	53 627	42,5	
	Umwandlungsausstoß insgesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0
Fackel- und Leitungsverluste	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	-	-	-	56	1,0	
Energieangebot nach Umwandlungsbilanz	-	-	31 929	24 531	96	6 822	5	132	343	1 513	-	1 513	35	-	4 085	37 562	6,2		
Nichtenergetischer Verbrauch	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Statistische Differenzen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
EINERGIE-VERBRAUCH	Endenergieverbrauch	-	-	31 929	24 531	96	6 822	5	132	343	1 513	-	1 513	35	-	4 085	37 562	7,6	
	Gew. Steine u. Erden, sonst. Bergbau, Verarbeitendes Gewerbe insgesamt	-	-	3 652	3 075	96	1	5	132	343	1	-	1	13	-	5	3 671	2,3	
	Verkehr insgesamt	-	-	6 309	-	-	6 309	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 309	5,4	
	Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen u. übrige Verbraucher	-	-	21 969	21 456	-	512	-	-	-	1 512	-	1 512	21	-	4 081	27 582	12,8	

¹Geothermie, Umweltwärme (Wärmepumpe).

Anhang 19: Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeeinheiten zur rheinland-pfälzischen Energiebilanz 2020

Blatt MHB	Zwei-/Viersteller Energieträgerliste Fachstatistik	Mengen- einheit	Heizwert (kJoule)
1.1	01 Steinkohlen	kg	27 374
1.2	02 Steinkohlenbriketts	kg	31 397
1.3	03 Steinkohlenkoks	kg	28 739
1.4	0401 Kohlenwertstoffe aus Steinkohle	kg	38 520
1.4	0402 Pech	kg	39 565
1.4	0403 Rohteer	kg	37 681
1.4	0404 Rohbenzol	kg	37 681
2.1	11 Rohbraunkohlen	kg	9 061
2.3	13 Braunkohlenbriketts	kg	19 604
2.4	14 Braunkohlenkoks	kg	30 114
2.5	15 Wirbelschichtkohle	kg	20 982
2.6	16 Staub- und Trockenkohlen	kg	22 086
3.1	Erdöl (roh)	kg	42 505
3.2	Rohbenzin	kg	44 000
3.2	Ottokraftstoff	kg	43 542
3.4	21 Dieselmotorkraftstoff	kg	42 648
3.5	Flugturbinenkraftstoff	kg	42 800
3.6	27 = 2702 Andere Mineralölprodukte	kg	39 501
3.7	22 Heizöl (leicht)	kg	42 816
3.8	23 Heizöl (schwer)	kg	40 343
3.9	26 Petrolkoks	kg	32 000
3.10	24 Flüssiggas	kg	43 074
3.11	25 Raffineriegas	kg	37 500
4.1	33 Kokereigas, Stadtgas	m ³	15 995
4.2	34 Gichtgas, Konvertergas	m ³	4 187
4.3	31 Erdgas	m ³	35 182
4.4	32 Grubengas	m ³	17 741
5.5.3	Biodiesel (Methylester)	kg	37 140
5.5.3	Pflanzenöl	kg	37 600
5.5.3	Ethanol	kg	27 000
5.5.3	Methanol	kg	20 000

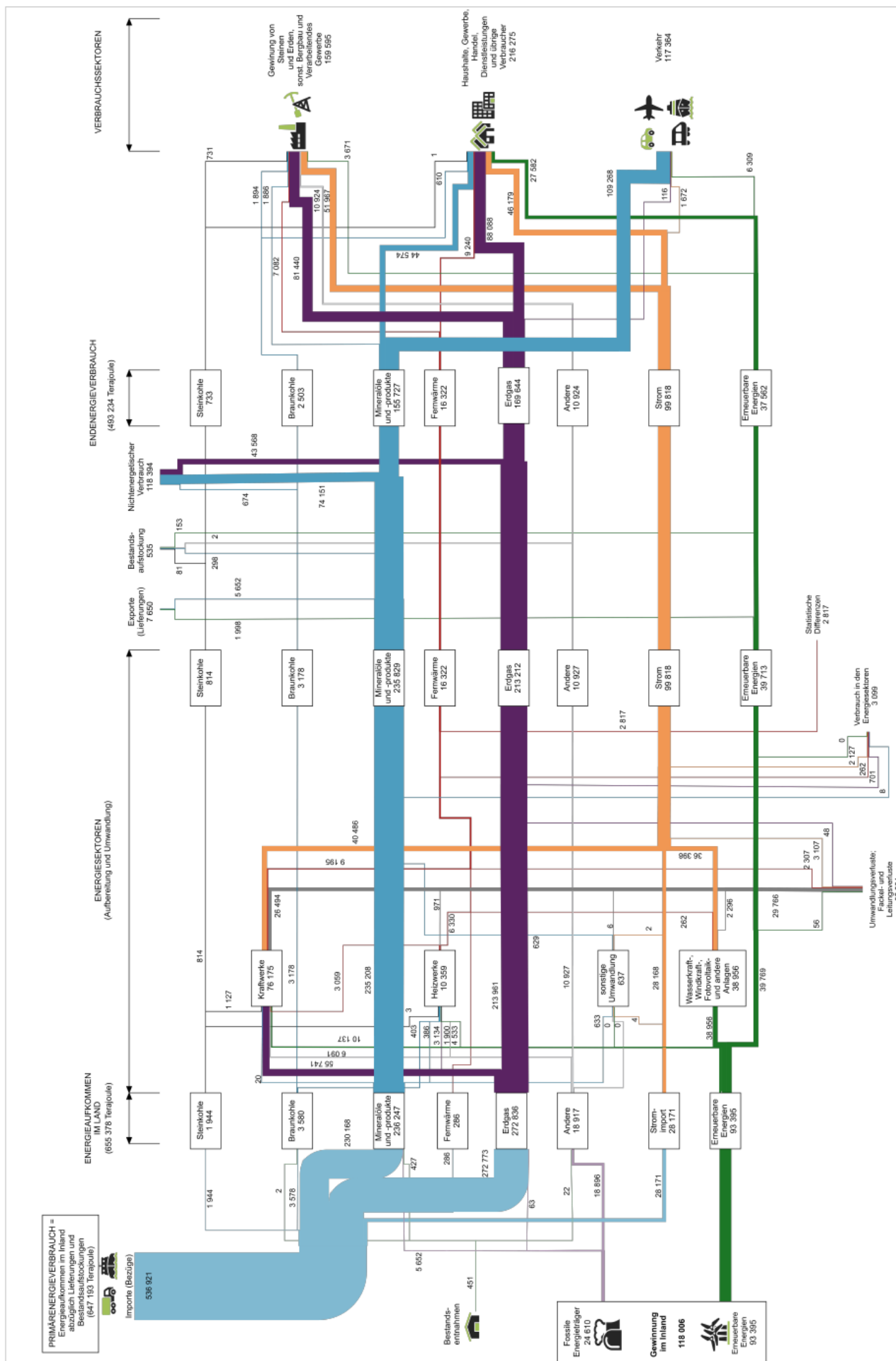
Stand: April 2022

Anhang 20: Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeeinheiten zur rheinland-pfälzischen Energiebilanz 2021

Blatt MHB	Zwei-/Viersteller Energieträgerliste Fachstatistik		Mengen- einheit	Heizwert (kJoule)
1.1	01	Steinkohlen	kg	27 745
1.2	02	Steinkohlenbriketts	kg	31 401
1.3	03	Steinkohlenkoks	kg	28 739
1.4	0401	Kohlenwertstoffe aus Steinkohle	kg	38 520
1.4	0402	Pech	kg	37 681
1.4	0403	Rohteer	kg	37 681
1.4	0404	Rohbenzol	kg	39 565
2.1	11	Rohbraunkohlen	kg	9 119
2.3	13	Braunkohlenbriketts	kg	19 607
2.4	14	Braunkohlenkoks	kg	29 952
2.5	15	Wirbelschichtkohle	kg	21 498
2.6	16	Staub- und Trockenkohlen	kg	22 134
3.1		Erdöl (roh)	kg	42 505
3.2		Rohbenzin	kg	44 000
3.2		Ottokraftstoff	kg	43 542
3.4	21	Dieselmkraftstoff	kg	42 648
3.5		Flugturbinenkraftstoff	kg	42 800
3.6	27 = 2702	Andere Mineralölprodukte	kg	39 501
3.7	22	Heizöl (leicht)	kg	42 816
3.8	23	Heizöl (schwer)	kg	40 343
3.9	26	Petrolkoks	kg	32 000
3.10	24	Flüssiggas	kg	43 074
3.11	25	Raffineriegas	kg	45 492
4.1	33	Kokereigas, Stadtgas	m ³	15 994
4.2	34	Gichtgas, Konvertergas	m ³	4 187
4.3	31	Erdgas	m ³	35 182
4.4	32	Grubengas	m ³	13 602
5.5.3		Biodiesel (Methylester)	kg	37 100
5.5.3		Pflanzenöl	kg	37 600
5.5.3		Ethanol	kg	27 000
5.5.3		Methanol	kg	20 000

Stand: Februar 2023

Anhang 21: Energieflussbild Rheinland-Pfalz 2021



4.1 Rahmenbedingungen und Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs

Anhang 22: Ausgewählte Kennzahlen und Indikatoren zum Energieverbrauch 1990 - 2021

Merkmal	Einheit	1990	1991	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
Primärenergieverbrauch (PEV)										
Rheinland-Pfalz	Mrd. kWh	160,7	165,6	180,1	187,2	183,8	178,0	178,6	175,8	179,8
Deutschland	Mrd. kWh	4140,3	4058,3	4000,2	3949,1	3756,4	3647,0	3556,8	3304,1	3455,5
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	3,9	4,1	4,5	4,7	4,9	4,9	5,0	5,3	5,2
Rheinland-Pfalz	Messzahl	100,0	103,1	112,1	116,5	114,4	110,8	111,2	109,4	111,9
Deutschland	Messzahl	100,0	98,0	96,6	95,4	90,7	88,1	85,9	79,8	83,5
PEV je Einwohner										
Rheinland-Pfalz	1 000 kWh	43,0	43,7	44,7	46,8	45,2	43,6	43,7	42,9	43,8
Deutschland	1 000 kWh	52,2	50,7	49,1	49,2	45,4	44,0	42,8	39,7	41,5
Primärenergieproduktivität¹										
Rheinland-Pfalz	Messzahl	.	100	98,4	102,0	116,1	120,1	120,2	117,9	125,3
Deutschland	Messzahl	.	100	116,9	128,9	154,7	160,9	166,7	172,8	169,6
Endenergieverbrauch (EEV)										
Rheinland-Pfalz	Mrd. kWh	118,2	126,2	138,0	136,9	132,9	134,9	136,3	133,1	137,0
Deutschland	Mrd. kWh	2631,2	2601,6	2565,2	2586,0	2557,7	2478,9	2492,6	2333,3	2440,3
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	4,5	4,8	5,4	5,3	5,2	5,4	5,5	5,7	5,6
Rheinland-Pfalz	Messzahl	100	106,7	116,8	115,8	112,5	114,1	115,3	112,6	115,9
Deutschland	Messzahl	100	98,9	97,5	98,3	97,2	94,2	94,7	88,7	92,7
EEV je Einwohner										
Rheinland-Pfalz	1 000 kWh	31,7	33,3	34,3	34,2	32,7	33,1	33,3	32,5	33,4
Deutschland	1 000 kWh	33,2	32,5	31,5	32,2	30,9	29,9	30,0	28,1	29,3
Endenergieproduktivität¹										
Rheinland-Pfalz	Messzahl	.	100	97,8	106,3	122,3	120,7	120,0	118,6	125,3
Deutschland	Messzahl	.	100	116,8	126,2	145,6	151,7	152,5	156,9	153,9
EEV der Industrie										
Rheinland-Pfalz	Mrd. kWh	37,4	39,5	47,9	42,8	42,1	43,2	42,6	42,5	44,3
Deutschland	Mrd. kWh	826,9	748,3	672,6	720,1	740,5	722,4	697,7	665,3	724,0
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	4,5	5,3	7,1	5,9	5,7	6,0	6,1	6,4	6,1
EEV im Verkehr										
Rheinland-Pfalz	Mrd. kWh	28,8	29,7	37,2	36,9	37,4	36,1	35,9	32,5	32,6
Deutschland	Mrd. kWh	660,8	674,5	764,3	710,9	768,1	751,2	756,1	635,5	653,9
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	4,4	4,4	4,9	5,2	4,9	4,8	4,8	5,1	5,0
EEV der Haushalte und Kleinverbraucher²										
Rheinland-Pfalz	Mrd. kWh	51,9	57,0	52,9	57,2	53,4	55,6	57,8	58,1	60,1
Deutschland	Mrd. kWh	1143,5	1178,9	1128,3	1155,0	1049,0	1005,3	1038,8	1032,5	1062,4
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	4,5	4,8	4,7	5,0	5,1	5,5	5,6	5,6	5,7

1 Bruttoinlandsprodukt (BIP) preisbereinigt, verkettet je Einheit Primär- bzw. Endenergie.

2 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2023), AG Energiebilanzen e. V. (Berechnungsstand: März 2023),

Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder (Berechnungsstand: August 2022/Februar 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 23: Ausgewählte Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs 1990 - 2021

Merkmal	Einheit	1990	1991	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
Einwohner im Jahresdurchschnitt ¹										
Rheinland-Pfalz	1 000	3 734	3 792	4 028	3 999	4 070	4 079	4 089	4 096	4 102
	Messzahl	100	101,6	107,9	107,1	109,0	109,3	109,5	109,7	109,9
Deutschland	1 000	79 365	79 973	81 457	80 284	82 657	82 906	83 093	83 161	83 196
	Messzahl	100	100,8	102,6	101,2	104,1	104,5	104,7	104,8	104,8
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	4,7	4,7	4,9	5,0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Haushalte ²										
Rheinland-Pfalz	1 000	.	1 590	1 793	1 869	1 935	1 939	1 922	1 915	1 931
Deutschland	1 000	.	34 605	37 422	39 722	40 721	40 805	40 902	40 540	40 683
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	.	4,6	4,8	4,7	4,8	4,8	4,7	4,7	4,7
Bruttoinlandsprodukt (BIP)										
BIP in je w eiligen Preisen										
Rheinland-Pfalz	Mill. Euro	.	76 346	93 617	112 475	140 117	143 060	146 985	144 558	162 169
	Messzahl	.	100	122,6	147,3	183,5	187,4	192,5	189,3	212,4
Deutschland	Mill. Euro	.	1 585 800	2 109 090	2 564 400	3 267 160	3 365 450	3 473 260	3 405 430	3 601 750
	Messzahl	.	100	133,0	161,7	206,0	212,2	219,0	214,7	227,1
Rheinland-pfälzischer Anteil	%	.	4,8	4,4	4,4	4,3	4,3	4,2	4,2	4,5
BIP preisbereinigt										
Rheinland-Pfalz	Messzahl	.	100	107,0	115,3	128,9	129,1	129,7	125,1	136,0
Deutschland	Messzahl	.	100	115,2	125,4	143,2	144,6	146,1	140,7	144,4
Industrie ³ (Rheinland-Pfalz)										
Betriebe	Anzahl	.	.	2 303	2 196	2 222	2 204	2 248	2 195	2 203
Beschäftigte	Anzahl	.	.	305 086	275 006	293 928	297 067	300 818	291 135	292 372
Umsatz	Mill. Euro	.	.	61 277	78 879	99 426	105 856	98 286	89 786	105 135
Wohnverhältnisse										
Wohnfläche										
Rheinland-Pfalz	1 000 m ²	.	.	172 447	199 787	209 415	211 108	212 713	214 330	215 893
Deutschland	1 000 m ²	.	.	3 179 728	3 557 922	3 725 902	3 753 715	3 782 746	3 812 916	3 841 438
Wohnfläche je Wohnung										
Rheinland-Pfalz	m ²	.	.	97	104	105	105	105	105	105
Deutschland	m ²	.	.	85	91	92	92	92	92	92
Wohnfläche je Einwohner										
Rheinland-Pfalz	m ²	.	.	43	50	51	52	52	52	53
Deutschland	m ²	.	.	39	44	45	45	46	46	46
Einfamilienhausquote ⁴										
Rheinland-Pfalz	%	.	.	68,7	72,7	72,9	72,9	72,9	72,9	72,9
Deutschland	%	.	.	61,9	66,2	66,7	66,7	66,7	66,8	66,8
Verkehr ⁵										
Kraftfahrzeuge insgesamt										
Rheinland-Pfalz	Anzahl	2 203 252	2 246 043	2 707 177	2 710 686	2 997 387	3 040 984	3 090 622	3 137 740	3 188 052
	Messzahl	100	101,9	122,9	123,0	136,0	138,0	140,3	142,4	144,7
Deutschland	Anzahl	35 748 278	.	51 364 673	50 184 419	55 568 268	56 459 008	57 305 201	58 158 344	59 020 091
	Messzahl	100	.	143,7	140,4	155,4	157,9	160,3	162,7	165,1
Pkw										
Rheinland-Pfalz	Anzahl	1 863 792	1 900 229	2 231 627	2 223 969	2 449 404	2 482 960	2 520 846	2 556 805	2 588 775
	Messzahl	100	102,0	119,7	119,3	131,4	133,2	135,3	137,2	138,9
mit Ottokraftstoffen betrieben	%	.	.	86,4	72,7	65,0	65,0	65,4	65,4	64,9
mit Dieselmotoren betrieben	%	.	.	13,6	26,4	33,7	33,5	33,0	32,6	32,2
Elektro-/Hybrid- oder sonstig betrieb	%	.	.	0,0	0,9	1,3	1,4	1,6	2,0	3,0
Deutschland	Anzahl	30 684 811	.	42 839 906	41 737 627	45 803 560	46 474 594	47 095 784	47 715 977	48 248 584
	Messzahl	100	.	139,6	136,0	149,3	151,5	153,5	155,5	157,2
Lkw (Rheinland-Pfalz)	Anzahl	81 426	83 412	116 025	114 475	138 920	144 063	149 831	156 278	163 851
	Messzahl	100	102,4	142,5	140,6	170,6	176,9	184,0	191,9	201,2
Kraftfahrzeuge je 1 000 Einwohner										
Rheinland-Pfalz	Anzahl	590	592	672	678	736	745	756	766	777
Deutschland	Anzahl	450	.	631	625	672	681	690	699	709
Pkw je 1 000 Haushalte										
Rheinland-Pfalz	Anzahl	.	1 195	1 245	1 190	1 266	1 281	1 312	1 335	1 341
Deutschland	Anzahl	.	.	1 145	1 051	1 125	1 139	1 151	1 177	1 186

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 Wirtschaftszweiklassifikationen mit Änderungen in den Jahren 1995, 2003

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 2022/Februar 2023), Industriestatistiken, Mikrozensus, Gebäude- und Wohnungszählung, Kraftfahrt-Bundesamt

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 24: Bruttowertschöpfung¹ 2000 - 2022 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	126 261	1,5	29,2	25,7	5,1	18,2	22,3	23,7
2018	128 917	1,5	28,4	24,9	5,4	18,5	22,2	24,1
2019	132 447	1,4	27,8	24,3	5,4	19,2	21,7	24,5
2020	131 081	1,4	26,6	23,0	6,0	18,7	22,2	25,2
2021	146 717	1,6	26,1	22,9	5,7	17,8	25,5	23,3
2022	155 335	1,9	26,5	23,3	6,4	18,7	23,6	22,9
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	2 944 074	0,9	25,8	22,6	4,7	20,5	26,1	21,9
2018	3 032 736	0,8	25,4	22,2	4,9	20,7	26,1	22,1
2019	3 129 717	0,9	25,0	21,7	4,9	20,9	25,8	22,5
2020	3 087 963	0,8	23,9	20,6	5,4	20,5	26,1	23,2
2021	3 258 567	0,9	24,0	20,8	5,5	20,9	25,8	22,8
2022	3 498 495	1,2	23,5	20,4	6,0	21,9	25,1	22,3

¹ In jeweiligen Preisen.

Quellen: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder (Berechnungsstand: August 2022/Februar 2023)

4.2 Entwicklung der Energiepreise

Anhang 25: Index¹ der Erzeugerpreise für gewerbliche Produkte, Energie und ausgewählte Energieträger in Deutschland

Jahr	Erzeugerpreis- index für gewerbliche Produkte	Erzeugerpreis- index für gewerbliche Produkte ohne Energie	Erzeugerpreis- index für Energie	Elektrischer Strom	Erdgas (Verteilung) ²	Schweres Heizöl	Leichtes Heizöl	Braunkohle	
2015 = 100									
2000	79,5	86,0	63,2	71,9	48,5	.	69,0	75,4	
2001	81,9	87,2	69,0	72,6	62,4	.	63,2	76,3	
2002	81,4	87,4	66,5	73,0	55,4	.	58,1	76,7	
2003	82,8	87,7	71,2	79,2	61,0	.	59,9	77,6	
2004	84,2	89,0	72,9	83,3	58,9	.	68,5	77,3	
2005	87,8	90,4	82,1	90,1	71,2	.	91,7	79,0	
2006	92,6	92,1	94,1	105,1	88,6	.	102,8	81,7	
2007	93,8	94,2	93,3	105,0	86,4	.	101,3	84,5	
2008	99,0	96,4	105,4	118,4	103,0	.	133,3	82,7	
2009	94,8	94,2	96,6	111,4	94,0	.	88,1	87,1	
2010	96,2	96,0	97,3	112,2	86,0	.	112,9	89,8	
2011	101,3	99,4	106,7	118,9	98,4	.	143,8	98,7	
2012	103,0	100,5	109,9	111,9	108,5	.	157,8	101,6	
2013	102,9	100,8	109,0	108,5	109,3	.	147,0	102,5	
2014	101,9	100,7	105,6	105,1	104,7	.	133,9	101,5	
2015	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
2016	98,4	99,7	94,1	97,4	88,3	83,4	83,2	99,5	
2017	101,1	102,5	96,6	102,0	83,0	114,9	97,5	97,0	
2018	103,7	104,3	101,9	108,6	86,2	139,9	119,1	98,1	
2019	104,8	105,1	104,0	116,2	86,1	137,2	116,0	103,4	
2020	103,8	105,1	99,8	117,1	77,5	94,5	78,2	104,4	
2021	114,7	111,5	124,6	146,5	109,8	144,8	123,2	106,9	
2022	152,4	127,1	232,0	286,3	255,6	237,0	228,8	112,6	
			Veränderung 2021 gegenüber 2000 in %						
	44,3	29,7	97,2	103,8	126,4	.	78,6	41,8	
			Durchschnittliche jährliche Veränderung 2000–2021 in %						
	3,0	1,8	6,1	6,5	7,8	.	5,6	1,8	
			Veränderung 2022 gegenüber 2000 in %						
	91,7	47,8	267,1	298,2	427,0	.	231,6	49,3	

¹ Nettopreisindex (ohne Mehrwertsteuer). – ² Ohne Erdgasförderung.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 26: Index¹ der Verbraucherpreise für Energie in Rheinland-Pfalz 1995 - 2022

Jahr	Verbraucherpreisindex	darunter		
		Energie	davon	
			Haushaltsenergie ¹	Kraftstoffe ²

2020 = 100

1995	72,3	.	45,5	59,7
1996	73,5	.	44,6	63,1
1997	74,9	.	45,8	64,7
1998	75,5	.	44,7	62,0
1999	75,8	.	46,3	66,2
2000	76,8	.	52,5	77,8
2001	78,3	.	57,6	78,7
2002	79,4	.	57,2	80,2
2003	80,1	.	59,5	83,8
2004	81,4	.	61,5	87,5
2005	82,7	77,6	68,9	95,1
2006	83,8	84,2	76,2	99,9
2007	85,6	87,7	79,3	104,1
2008	87,7	96,2	88,4	110,9
2009	87,6	90,5	85,7	98,6
2010	88,5	94,1	85,9	109,9
2011	90,3	103,9	94,3	122,8
2012	92,3	109,9	99,9	129,3
2013	93,7	111,0	103,4	124,7
2014	94,5	109,2	103,2	119,6
2015	94,9	101,4	97,4	107,3
2016	95,2	96,4	93,7	99,6
2017	96,5	98,9	94,5	105,8
2018	98,1	103,3	96,9	114,3
2019	99,4	103,9	99,0	111,6
2020	100,0	100,0	100,0	100,0
2021	103,0	111,4	103,1	123,2
2022	109,8	140,7	130,7	154,9

Veränderung 2021 gegenüber 1995 in %

42,5 . 126,6 106,4

Durchschnittliche jährliche Veränderung 1995–2021 in %

1,4 . 3,2 2,8

Veränderung 2022 gegenüber 1995 in %

51,9 . 187,3 159,5

1 Strom, Gas und andere Brennstoffe.

2 Bis 2004: Einschließlich Schmierstoffe.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 27: Index der Verbraucherpreise für Haushaltsenergie¹ in Rheinland-Pfalz 1995 - 2022

Jahr	Haushaltsenergie ¹	davon				
		Strom	Gas ²	Heizöl ¹	Feste Brennstoffe ³	Fernwärme u. A.
2020 = 100						
1995	45,5	44,2	51,3	43,0	59,3	.
1996	44,6	40,9	48,8	51,0	60,5	.
1997	45,8	41,1	51,3	52,0	62,2	.
1998	44,7	41,3	51,9	43,1	62,7	.
1999	46,3	43,4	51,0	51,8	64,3	.
2000	52,5	43,2	58,4	79,5	71,6	.
2001	57,6	45,4	70,9	75,3	76,2	.
2002	57,2	47,8	66,8	68,4	75,5	.
2003	59,5	50,8	70,1	71,5	79,3	.
2004	61,5	52,6	69,5	79,7	78,8	.
2005	68,9	55,6	77,4	105,8	76,3	77,5
2006	76,2	57,4	93,1	117,0	78,6	90,1
2007	79,3	62,2	93,9	116,1	80,5	94,3
2008	88,4	65,8	105,6	153,0	84,6	99,0
2009	85,7	69,7	102,7	105,6	87,9	95,6
2010	85,9	72,2	93,4	129,6	88,0	89,3
2011	94,3	78,2	97,6	162,7	91,1	92,4
2012	99,9	80,3	104,1	176,8	90,8	100,0
2013	103,4	88,7	105,0	166,5	93,0	103,8
2014	103,2	92,2	104,0	152,6	97,1	104,3
2015	97,4	91,1	102,3	113,5	98,4	102,7
2016	93,7	91,8	100,7	91,5	94,9	99,9
2017	94,5	91,9	99,3	101,4	96,8	96,6
2018	96,9	92,1	97,7	120,6	100,5	97,9
2019	99,0	94,9	98,3	123,2	105,9	101,4
2020	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2021	103,1	101,7	105,2	108,7	101,3	100,4
2022	130,7	116,8	144,7	187,5	167,2	114,7
Veränderung 2021 gegenüber 1995 in %						
	126,6	130,1	105,1	152,8	70,8	.
Durchschnittliche jährliche Veränderung 1995–2021 in %						
	3,2	3,3	2,8	3,6	2,1	.
Veränderung 2022 gegenüber 1995 in %						
	187,3	164,3	182,1	336,0	182,0	.

1 Strom, Gas und andere Brennstoffe.

2 Die Positionen „Gas“ und „Heizöl“ enthalten neben den Kosten der verbrauchten Brennstoffe und ihrer Lieferung auch die Betriebskosten für eine zentrale 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

3 Kohle und andere feste Brennstoffe.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 28: Index der Verbraucherpreise für Kraftstoffe in Rheinland-Pfalz 1995 - 2022

Jahr	Kraftstoffe ¹	darunter		
		Superbenzin ²	Diesekraftstoff	Autogas
2020 = 100				
1995	59,7	61,7	51,5	
1996	63,1	64,7	56,6	
1997	64,7	66,5	57,0	
1998	62,0	64,1	53,2	
1999	66,2	68,2	57,6	
2000	77,8	79,5	71,8	
2001	78,7	80,1	73,6	
2002	80,2	81,6	74,5	
2003	83,8	85,2	78,7	
2004	87,5	88,9	83,4	
2005	95,1	95,6	95,0	
2006	99,9	100,5	99,2	
2007	104,1	104,7	103,7	
2008	110,9	108,8	118,0	
2009	98,6	99,4	96,2	
2010	109,9	110,1	108,7	113,4
2011	122,8	121,3	126,3	132,9
2012	129,3	127,9	132,5	138,8
2013	124,7	123,7	126,8	132,9
2014	119,6	119,1	120,3	127,1
2015	107,3	108,4	104,3	105,4
2016	99,6	101,1	96,0	95,7
2017	105,8	106,7	103,9	99,9
2018	114,3	114,1	115,7	106,9
2019	111,6	111,3	113,1	106,8
2020	100,0	100,0	100,0	100,0
2021	123,2	122,8	124,8	118,3
2022	154,9	149,2	173,6	167,5
	Veränderung 2021 gegenüber 1995 in %			
	106,4	99,0	142,3	
	Durchschnittliche jährliche Veränderung 1995–2021 in %			
	2,8	2,7	3,5	
	Veränderung 2022 gegenüber 1995 in %			
	159,5	141,8	237,1	

1 Bis 2004: Einschließlich Schmierstoffe.

2 Superbenzin und Superbenzin plus.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

4.3 Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

Anhang 29: Primärenergieverbrauch 1990 - 2021 nach Energieträgern

Energieträger	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
Petajoule								
Kohle	51,1	17,4	7,1	6,4	5,7	5,8	5,3	5,4
Mineralöle und Mineralölprodukte	291,8	300,8	272,1	269,8	253,4	255,7	239,3	230,3
Erdgas	159,4	237,4	262,4	247,8	244,3	248,9	257,6	272,8
Erneuerbare Energieträger	5,1	12,2	65,8	86,8	85,1	87,5	91,7	91,2
Strom ¹	71,1	76,3	44,7	31,1	33,5	26,6	21,4	28,2
Sonstige Energieträger ²	.	4,2	21,9	19,9	19,0	18,6	17,4	19,2
Insgesamt	578,5	648,2	674,1	661,6	640,9	643,1	632,7	647,2
TWh								
Kohle	14,2	4,8	2,0	1,8	1,6	1,6	1,5	1,5
Mineralöle und Mineralölprodukte	81,0	83,5	75,6	74,9	70,4	71,0	66,5	64,0
Erdgas	44,3	65,9	72,9	68,8	67,9	69,1	71,6	75,8
Erneuerbare Energieträger	1,4	3,4	18,3	24,1	23,6	24,3	25,5	25,3
Strom ¹	19,8	21,2	12,4	8,6	9,3	7,4	6,0	7,8
Sonstige Energieträger ²	.	1,2	6,1	5,5	5,3	5,2	4,8	5,3
Insgesamt	160,7	180,1	187,2	183,8	178,0	178,6	175,8	179,8
Anteil am Primärenergieverbrauch in %								
Kohle	8,8	2,7	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8
Mineralöle und Mineralölprodukte	50,4	46,4	40,4	40,8	39,5	39,8	37,8	35,6
Erdgas	27,6	36,6	38,9	37,4	38,1	38,7	40,7	42,2
Erneuerbare Energieträger	0,9	1,9	9,8	13,1	13,3	13,6	14,5	14,1
Strom ¹	12,3	11,8	6,6	4,7	5,2	4,1	3,4	4,4
Sonstige Energieträger ²	.	0,7	3,2	3,0	3,0	2,9	2,7	3,0
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Veränderung in %								
Kohle	.	-65,9	-59,1	-10,4	-11,2	1,5	-7,9	2,7
Mineralöle und Mineralölprodukte	.	3,1	-9,5	-0,9	-6,1	0,9	-6,4	-3,8
Erdgas	.	48,9	10,5	-5,6	-1,4	1,9	3,5	5,9
Erneuerbare Energieträger	.	140,5	440,7	31,8	-2,0	2,9	4,8	-0,5
Strom ¹	.	7,2	-41,4	-30,5	7,7	-20,4	-19,5	31,5
Sonstige Energieträger ²	.	.	418,0	-9,2	-4,4	-1,9	-6,8	10,6
Insgesamt	.	12,1	4,0	-1,8	-3,1	0,4	-1,6	2,3
Messzahl: 1990 = 100								
Kohle	100	34,1	13,9	12,5	11,1	11,3	10,4	10,7
Mineralöle und Mineralölprodukte	100	103,1	93,3	92,5	86,9	87,6	82,0	78,9
Erdgas	100	148,9	164,6	155,4	153,2	156,1	161,6	171,1
Erneuerbare Energieträger	100	240,5	1300,5	1713,6	1680,0	1728,9	1811,8	1802,2
Strom ¹	100	107,2	62,8	43,7	47,0	37,4	30,1	39,6
Sonstige Energieträger ²	.	.	.	.	.	.	.	.
Insgesamt	100	112,1	116,5	114,4	110,8	111,2	109,4	111,9

1 Stromaustauschsaldo aus Bezügen und Lieferungen.

2 Fernwärme, Abfälle (fossile Fraktion) und sonstige hergestellte Gase.

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 30: Struktur des Energieverbrauchs 1990 - 2021

Merkmal	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
Rheinland-Pfalz								
TWh								
Primärenergieverbrauch	161	180	187	184	178	179	176	180
Verbrauch und Verluste im Energiesektor, statistische Differenzen	14	12	14	14	10	10	10	10
Nichtenergetischer Verbrauch	29	30	36	37	33	32	32	33
Endenergieverbrauch	118	138	137	133	135	136	133	137
Anteil an Deutschland in %								
Primärenergieverbrauch	3,9	4,5	4,7	4,9	4,9	5,0	5,3	5,2
Verbrauch und Verluste im Energiesektor, statistische Differenzen	1,1	1,0	1,3	1,5	1,1	1,3	1,5	1,3
Nichtenergetischer Verbrauch	10,8	10,2	12,7	13,3	12,5	12,5	12,5	12,1
Endenergieverbrauch	4,5	5,4	5,3	5,2	5,4	5,5	5,7	5,6
Anteil am Primärenergieverbrauch in %								
Verbrauch und Verluste im Energiesektor, statistische Differenzen	8,6	6,6	7,5	7,7	5,7	5,7	5,9	5,5
Nichtenergetischer Verbrauch	17,8	16,8	19,4	19,9	18,5	18,0	18,3	18,3
Endenergieverbrauch	73,6	76,7	73,1	72,3	75,8	76,3	75,8	76,2
Deutschland								
TWh								
Primärenergieverbrauch	4 140	4 000	3 949	3 756	3 647	3 557	3 304	3 456
Verbrauch und Verluste im Energiesektor, statistische Differenzen	1 243	1 138	1 076	924	904	807	712	743
Nichtenergetischer Verbrauch	266	297	287	275	264	257	259	272
Endenergieverbrauch	2 631	2 565	2 586	2 558	2 479	2 493	2 333	2 440
Anteil am Primärenergieverbrauch in %								
Verbrauch und Verluste im Energiesektor, statistische Differenzen	30,0	28,5	27,2	24,6	24,8	22,7	21,6	21,5
Nichtenergetischer Verbrauch	6,4	7,4	7,3	7,3	7,2	7,2	7,8	7,9
Endenergieverbrauch	63,5	64,1	65,5	68,1	68,0	70,1	70,6	70,6

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2023), Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (Berechnungsstand: März 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

4.4 Entwicklung des Endenergieverbrauchs

Anhang 31: Endenergieverbrauch 1990 - 2021 nach Verbrauchergruppen

Energieträger	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
Petajoule								
Industrie	134,8	172,3	154,0	151,7	155,5	153,5	153,1	159,6
Verkehr	103,8	134,0	132,7	134,7	129,9	129,3	117,1	117,4
Haushalte und Kleinverbraucher ¹	187,0	190,6	206,0	192,2	200,3	207,9	209,0	216,3
Insgesamt	425,6	496,9	492,7	478,6	485,8	490,7	479,3	493,2
TWh								
Industrie	37,4	47,9	42,8	42,1	43,2	42,6	42,5	44,3
Verkehr	28,8	37,2	36,9	37,4	36,1	35,9	32,5	32,6
Haushalte und Kleinverbraucher ¹	51,9	52,9	57,2	53,4	55,6	57,8	58,1	60,1
Insgesamt	118,2	138,0	136,9	132,9	134,9	136,3	133,1	137,0
Anteil am Endenergieverbrauch in %								
Industrie	31,7	34,7	31,3	31,7	32,0	31,3	31,9	32,4
Verkehr	24,4	27,0	26,9	28,1	26,7	26,4	24,4	23,8
Haushalte und Kleinverbraucher ¹	43,9	38,4	41,8	40,2	41,2	42,4	43,6	43,8
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Veränderung in %								
Industrie	.	27,8	-10,6	-1,5	2,5	-1,3	-0,2	4,2
Verkehr	.	29,1	-1,0	1,5	-3,5	-0,5	-9,4	0,2
Haushalte und Kleinverbraucher ¹	.	2,0	8,1	-6,7	4,2	3,8	0,5	3,5
Insgesamt	.	16,8	-0,8	-2,9	1,5	1,0	-2,3	2,9
Messzahl: 1990 = 100								
Industrie	100	127,8	114,3	112,5	115,4	113,9	113,6	118,4
Verkehr	100	129,1	127,8	129,7	125,1	124,5	112,8	113,0
Haushalte und Kleinverbraucher ¹	100	102,0	110,2	102,8	107,1	111,2	111,8	115,7
Insgesamt	100	116,8	115,8	112,5	114,1	115,3	112,6	115,9

¹ Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 32: Endenergieverbrauch 1990 - 2021 nach Energieträgern

Energieträger	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
Petajoule								
Kohle	27,9	11,3	4,9	3,4	3,4	3,3	3,2	3,2
Mineralöle und Mineralölprodukte	203,4	215,0	179,9	175,7	172,2	179,7	166,1	155,7
Erdgas	97,4	152,6	145,8	142,0	151,3	149,6	155,6	169,6
Erneuerbare Energieträger	1,8	3,3	34,6	34,2	35,3	35,5	36,2	37,6
Strom	91,5	101,1	101,4	100,9	100,7	98,6	97,0	99,8
Fernwärme	3,6	13,6	15,9	11,2	12,6	13,9	12,1	16,3
Sonstige Energieträger ¹	.	.	10,2	11,2	10,4	10,2	9,0	10,9
Insgesamt	425,6	496,9	492,7	478,6	485,8	490,7	479,3	493,2
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	48,8	47,8	49,9	46,1	43,3
Erdgas	27,0	42,4	40,5	39,5	42,0	41,6	43,2	47,1
Erneuerbare Energieträger	0,5	0,9	9,6	9,5	9,8	9,9	10,1	10,4
Strom	25,4	28,1	28,2	28,0	28,0	27,4	27,0	27,7
Fernwärme	1,0	3,8	4,4	3,1	3,5	3,9	3,4	4,5
Sonstige Energieträger ¹	.	.	2,8	3,1	2,9	2,8	2,5	3,0
Insgesamt	118,2	138,0	136,9	132,9	134,9	136,3	133,1	137,0
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	36,5	36,7	35,5	36,6	34,7	31,6
Erdgas	22,9	30,7	29,6	29,7	31,1	30,5	32,5	34,4
Erneuerbare Energieträger	0,4	0,7	7,0	7,1	7,3	7,2	7,6	7,6
Strom	21,5	20,3	20,6	21,1	20,7	20,1	20,2	20,2
Fernwärme	0,8	2,7	3,2	2,3	2,6	2,8	2,5	3,3
Sonstige Energieträger ¹	.	.	2,1	2,3	2,1	2,1	1,9	2,2
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Veränderung in %								
Kohle	.	-59,6	-56,1	-31,5	-0,8	-2,9	-0,5	-0,4
Mineralöle und Mineralölprodukte	.	5,7	-16,3	-2,3	-2,0	4,4	-7,6	-6,3
Erdgas	.	56,8	-4,5	-2,6	6,5	-1,1	4,0	9,0
Erneuerbare Energieträger	.	86,4	937,3	-1,0	3,2	0,5	2,1	3,7
Strom	.	10,4	0,3	-0,5	-0,2	-2,1	-1,6	2,9
Fernwärme	.	278,7	16,9	-29,5	12,3	10,5	-13,1	35,3
Sonstige Energieträger ¹	.	.	.	9,4	-7,1	-1,8	-11,2	20,8
Insgesamt	.	16,8	-0,8	-2,9	1,5	1,0	-2,3	2,9
Messzahl: 1990 = 100								
Kohle	100	40,4	17,7	12,1	12,1	11,7	11,6	11,6
Mineralöle und Mineralölprodukte	100	105,7	88,4	86,4	84,7	88,4	81,7	76,6
Erdgas	100	156,8	149,8	145,9	155,4	153,6	159,8	174,2
Erneuerbare Energieträger	100	186,4	1933,1	1913,3	1973,8	1983,7	2025,0	2100,8
Strom	100	110,4	110,8	110,2	110,0	107,7	106,0	109,0
Fernwärme	100	378,7	442,8	312,2	350,5	387,3	336,7	455,5
Sonstige Energieträger ¹	.	.	.	.	.	.	.	.
Insgesamt	100	116,8	115,8	112,5	114,1	115,3	112,6	115,9

1 Abfälle (fossile Fraktion) und sonstige hergestellte Gase.

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

4.5 Entwicklung des Energieverbrauchs im Bereich der Mobilität

Anhang 33: Endenergieverbrauch 1990 - 2021 im Verkehrssektor

Verbrauchergruppe	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
Petajoule								
Schienenverkehr	3,2	1,8	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,3
Straßenverkehr	98,5	129,2	121,4	126,9	120,5	121,4	111,9	112,3
Luftverkehr	0,5	2,3	8,3	4,8	6,5	5,0	2,3	2,1
Binnenschifffahrt	1,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Verkehr insgesamt	103,8	134,0	132,7	134,7	129,9	129,3	117,1	117,4
TWh								
Schienenverkehr	0,9	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6
Straßenverkehr	27,4	35,9	33,7	35,2	33,5	33,7	31,1	31,2
Luftverkehr	0,1	0,6	2,3	1,3	1,8	1,4	0,6	0,6
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	37,4	36,1	35,9	32,5	32,6
Anteil am Endenergieverbrauch im Verkehrssektor %								
Schienenverkehr	3,1	1,3	1,7	1,8	1,8	1,8	2,0	2,0
Straßenverkehr	94,9	96,4	91,5	94,2	92,7	93,9	95,5	95,7
Luftverkehr	0,5	1,7	6,3	3,6	5,0	3,8	1,9	1,8
Binnenschifffahrt	1,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Verkehr insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Veränderung in %								
Schienenverkehr	.	-44,7	28,1	4,9	-0,9	-1,0	1,2	-2,3
Straßenverkehr	.	31,2	-6,0	4,5	-5,0	0,7	-7,8	0,4
Luftverkehr	.	388,7	260,1	-42,5	35,0	-23,1	-54,5	-4,9
Binnenschifffahrt	.	-55,9	-8,1	-3,5	-6,7	0,0	-0,3	-4,6
Verkehr insgesamt	.	29,1	-1,0	1,5	-3,5	-0,5	-9,4	0,2
Messzahl: 1990 = 100								
Schienenverkehr	100	55,3	70,8	74,3	73,6	72,9	73,7	72,0
Straßenverkehr	100	131,2	123,3	128,8	122,3	123,2	113,6	114,0
Luftverkehr	100	488,7	1759,9	1012,1	1366,1	1050,9	478,0	454,5
Binnenschifffahrt	100	44,1	40,5	39,1	36,5	36,5	36,4	34,7
Verkehr insgesamt	100	129,1	127,8	129,7	125,1	124,5	112,8	113,0

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 34: Endenergieverbrauch 1990 - 2021 nach Verbrauchergruppen und Energieträgern

Energieträger	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
Verkehr								
TWh								
Ottokraftstoff	17,7	20,1	14,9	13,0	12,4	12,5	11,4	11,5
Dieselmkraftstoff	10,4	16,3	17,1	20,8	19,5	19,8	18,0	18,2
Flugturbinenkraftstoff	0,1	0,6	2,3	1,3	1,8	1,4	0,6	0,6
Biokraftstoffe	.	.	1,9	1,6	1,7	1,6	2,0	1,8
Strom ¹	0,5	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
Sonstige ²	0,0	.	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
Insgesamt	28,8	37,2	36,9	37,4	36,1	35,9	32,5	32,6
Anteil am Endenergieverbrauch der Verbrauchergruppe in %								
Ottokraftstoff	61,5	53,9	40,4	34,7	34,5	34,9	35,0	35,1
Dieselmkraftstoff	36,2	43,9	46,3	55,6	54,1	55,0	55,3	55,8
Flugturbinenkraftstoff	0,5	1,7	6,2	3,5	5,0	3,8	1,9	1,8
Biokraftstoffe	.	.	5,1	4,4	4,7	4,6	6,1	5,4
Strom ¹	1,8	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4
Sonstige ²	0,0	.	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100

1 Bis 2015: nur Schienenverkehr.

2 Flüssiggas, Erdgas.

Quellen: Energiebilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Juni 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

4.6 Entwicklung der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs

Anhang 35: Strombilanz 1990 - 2021

Merkmal	Einheit	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
Bruttostromerzeugung	TWh	7,469	8,538	16,590	20,675	20,023	21,441	22,544	21,357
Erneuerbare Energieträger	TWh	0,873	1,430	4,435	9,945	10,244	10,990	11,756	10,902
Anteil	%	11,7	16,7	26,7	48,1	51,2	51,3	52,1	51,0
Windkraft ¹	TWh	.	0,192	1,784	5,923	6,192	6,865	7,605	6,521
Anteil	%	.	2,3	10,8	28,6	30,9	32,0	33,7	30,5
Photovoltaik	TWh	.	.	0,603	1,859	2,028	2,055	2,206	2,199
Anteil	%	.	.	3,6	9,0	10,1	9,6	9,8	10,3
Biomasse	TWh	.	.	0,836	1,240	1,160	1,097	1,139	1,166
Anteil	%	.	.	5,0	6,0	5,8	5,1	5,1	5,5
Wasserkraft	TWh	0,873	1,237	1,114	0,832	0,821	0,915	0,748	0,975
Anteil	%	11,7	14,5	6,7	4,0	4,1	4,3	3,3	4,6
Nicht erneuerbare Energieträger	TWh	6,596	7,108	12,155	10,730	9,779	10,451	10,788	10,455
Anteil	%	88,3	83,3	73,3	51,9	48,8	48,7	47,9	49,0
Erdgas	TWh	.	.	11,243	9,835	8,911	9,549	9,953	9,682
Anteil	%	.	.	67,8	47,6	44,5	44,5	44,1	45,3
Abfall (fossiler Anteil)	TWh	.	.	0,267	0,310	0,323	0,333	0,319	0,326
Anteil	%	.	.	1,6	1,5	1,6	1,6	1,4	1,5
Stromaustauschsaldo	TWh	19,759	21,181	12,415	8,629	9,292	7,392	5,953	7,824
Anteil Saldo am Bruttostromverbrauch	%	72,6	71,3	42,8	29,4	31,7	25,6	20,9	26,8
Bruttostromverbrauch	TWh	27,228	29,718	29,005	29,305	29,315	28,833	28,496	29,181
Anteil erneuerbarer Energieträger (heimische Erzeugung)	%	3,2	4,8	15,3	33,9	34,9	38,1	41,3	37,4
Stromverbrauch im Umwandlungsbereich ²	TWh	1,799	1,638	0,840	1,281	1,346	1,449	1,545	1,454
Endenergieverbrauch	TWh	25,429	28,080	28,165	28,023	27,969	27,384	26,952	27,727
davon									
Industrie	TWh	13,393	14,190	15,357	15,308	14,883	14,679	14,069	14,435
Anteil am Endenergieverbrauch	%	52,7	50,5	54,5	54,6	53,2	53,6	52,2	52,1
Verkehr	TWh	0,529	0,206	0,448	0,436	0,434	0,420	0,453	0,464
Anteil am Endenergieverbrauch	%	2,1	0,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,7	1,7
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, übrige Verbraucher	TWh	11,507	13,684	12,360	12,279	12,652	12,285	12,430	12,827
Anteil am Endenergieverbrauch	%	45,3	48,7	43,9	43,8	45,2	44,9	46,1	46,3

1 1996-2003 einschließlich andere erneuerbare Energieträger.

2 Einschl. Leitungsverluste, statistische Differenzen.

Quellen: Strombilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Mai 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

4.7 Entwicklung der Wärmeerzeugung und des Wärmeverbrauchs

Anhang 36: Bruttoendenergieverbrauch nach Verbrauchssektoren

Merkmal	Einheit	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Bruttoendenergieverbrauch										
Wärme und Kälte	Mrd. kWh	76,9	82,8	75,7	78,3	78,5	82,0	83,8	84,9	88,2
Verkehr	Mrd. kWh	35,6	34,3	34,8	35,4	35,9	34,1	34,4	31,8	31,9
Strom	Mrd. kWh	19,6	18,5	18,8	18,4	18,8	18,5	18,3	17,7	18,2
Anteil Erneuerbarer Energien										
Rheinland-Pfalz										
Insgesamt	%	5,9	10,7	14,8	14,6	15,2	15,5	15,9	17,1	16,5
Wärme und Kälte	%	5,6	10,3	11,5	11,3	11,3	11,3	11,2	11,0	11,7
Deutschland ¹										
Insgesamt	%	7,2	11,7	14,9	14,9	15,5	16,7	17,3	19,1	19,2
Wärme und Kälte	%	7,7	12,1	13,4	13,0	13,4	14,2	14,5	14,5	15,4

1 Angaben zum Bruttoendenergieverbrauch entsprechend der „Erneuerbare-Energien-Richtlinie“ der EU.

Quellen: Berechnung auf Basis einer Methode des Länderarbeitskreises Energiebilanzen (Berechnungsstand: Juni 2023), Eurostat

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

5. Entwicklung der Treibhausgasemissionen 1990 - 2021 (Kurzberichterstattung gemäß §7 Abs. 2 Nr. 1 LKSG)

Ermittlung der Treibhausgasemissionen - Methodik

Treibhausgasemissionen entstehen in erster Linie bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern zum Zweck der Energiegewinnung. Den wesentlichen Teil der Treibhausgase machen deswegen die aus dem Energieverbrauch resultierenden Emissionen aus (energiebedingte Emissionen). Klimaschädliche Gase entstehen aber auch in anderen Bereichen, insbesondere bei verschiedenen Produktionsprozessen in der Industrie und in der Landwirtschaft. Das Monitoring über die Entwicklung der Treibhausgase in Rheinland-Pfalz umfasst sowohl die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen als auch die Entwicklung der sonstigen Treibhausgasemissionen. Die Berichtspflichten sind in § 7 Landes Klimaschutzgesetz (LKSG) geregelt.

Bei der Darstellung der Treibhausgasemissionen für Rheinland-Pfalz orientiert sich das Statistische Landesamt an den Methodenstandards des Arbeitskreises Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL). Maßgeblich für den Nachweis ist der Entstehungsort der Emissionen (Quellen- bzw. Territorialprinzip).⁵ Auf dieser Basis liegen für alle Treibhausgase vergleichbare und valide Daten vor. Die Berechnungen für die Länderebene lehnen sich soweit wie möglich an internationale Berichtsstandards und die Vorgehensweise des Umweltbundesamtes (UBA) an. Das UBA erstellt jährlich den Nationalen Inventarbericht (National Inventory Report – NIR) zum deutschen Treibhausgasinventar, zu dem Deutschland als Vertragsstaat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen verpflichtet ist.⁶ Für die Bereiche Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung ermittelt das Thünen-Institut die nationalen Emissionsinventare.⁷

Als wichtigste anthropogene, also durch den Menschen verursachte, Treibhausgase sind neben Kohlendioxid (CO₂) vor allem Methan (CH₄) und Lachgas (Distickstoffoxid bzw. N₂O) zu nennen. Hinzu kommen weitere Gase, die sogenannten F-Gase (fluorierte Treibhausgase), welche zum Teil extrem klimawirksam sind. Mit der Hilfe von CO₂-Äquivalenzfaktoren (auch

⁵ Der Anteil des internationalen Flugverkehrs wird hierbei herausgerechnet.

⁶ Weitere Informationen veröffentlicht das UBA auf seiner Homepage: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/internationale-eu-klimapolitik/klimarahmenkonvention-der-vereinten-nationen-unfccc> [Stand: 16.11.2023].

⁷ Weitere Informationen veröffentlicht das Thünen-Institut auf seiner Homepage: <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/agrar Klimaschutz/arbeitsbereiche/emissionsinventare> [Stand: 16.11.2023].

Global Warming Potentials bzw. GWPs) werden die unterschiedlichen Treibhausgase normiert und bezüglich ihrer Auswirkungen auf das Klima miteinander vergleichbar gemacht. Analog zur Vorgehensweise des UBA entsprechend der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen wurden die CO₂-Äquivalenzfaktoren für diesen Bericht an die GWPs nach dem 5. Sachstandbericht des Weltklimarats angepasst.⁸

Kohlendioxidemissionen machen rund 90% der Treibhausgase aus und sind damit die Hauptursache für den anthropogenen Treibhausgaseffekt. Sie entstehen vor allem bei der Verbrennung fossiler Energieträger wie Erdöl und Erdgas für die Strom- und Wärmeerzeugung, im Verkehr und in der Industrie. Methan entsteht hauptsächlich in der Landwirtschaft (insbesondere bei der Tierhaltung), aber auch bei der Abfalldeponierung und der Energieproduktion. Die bedeutendste Quelle der Entstehung von Lachgas ist die landwirtschaftliche Bodennutzung, insbesondere durch die Verwendung von stickstoffhaltigem Düngemittel. F-Gase werden für verschiedene Produkte genutzt. Sie dienen z. B. als Kältemittel in Kühl- und Klimaanlage, als Treibmittel bei Schaum- und Dämmstoffen sowie bei Aerosolen oder als Feuerlöschmittel. Erst im Fall einer Freisetzung werden sie klimawirksam (z. B. bei der nicht-fachgerechten Entsorgung von Altgeräten).⁹

Berechnungsstand

Der Berechnungsstand der Treibhausgasbilanzierung in diesem Bericht ist Oktober 2023. Durch die Weiterentwicklung der Methodenstandards in den Arbeitskreisen der Länder und die Anpassung der Emissionsfaktoren des Umweltbundesamts ergeben sich regelmäßig bei allen Arten von Treibhausgasemissionen Änderungen, die sich rückwirkend auch auf vergan-

⁸ Siehe hierzu:

UBA (2023): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2023; <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-8> und

UNFCCC (2018): Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement; Annex to Decision 18/CMA.1; <https://unfccc.int/documents/193408> sowie

Intergovernmental Panel on Climate Change (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter 8, Appendix 8.A, Table 8.A.1: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> [Stand: 29.11.2023].

⁹ Eine detaillierte Beschreibung der Treibhausgasemissionen veröffentlicht das Umweltbundesamt auf seiner Homepage: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase> [Stand: 16.11.2023].

gene Berichtsjahre auswirken können. Alle Angaben in diesem Bericht entsprechen dem aktuellen Berechnungsstand und weichen deshalb von vorhergehenden Berichten und anderen Publikationen mit anderen Berechnungsständen ab.

Kohlendioxidemissionen

Die Ermittlung der energiebedingten CO₂-Emissionen erfolgt nach einer auf der Ebene der Bundesländer im Länderarbeitskreis Energiebilanzen (LAK Energiebilanzen) abgestimmten einheitlichen Methodik.¹⁰ Die Berechnungsbasis bilden die Ergebnisse aus der Bilanzierung der Energieverbräuche der Länder. Es werden die Emissionen aus dem Einsatz und der Verarbeitung der fossilen Energieträger berücksichtigt (Kohle, Gas, Mineralöl und nicht biogene Abfälle). In die Berechnung der Emissionen gehen spezifische, auf den Heizwert eines Energieträgers bezogene CO₂-Faktoren ein. Diese Emissionsfaktoren stellt das UBA differenziert nach Energieträgern und Einsatzbereichen zur Verfügung. Aus der Energiebilanz werden grundsätzlich nur diejenigen Bereiche einbezogen, in denen entweder ein emissionswirksamer Umwandelungseinsatz von Energieträgern stattfindet (wie bei den Kraftwerken zur Strom- und Wärmezeugung) oder Energieträger direkt für den Endverbrauch in der Industrie, im Verkehr sowie den Haushalten und im Bereich Gewerbe/Handel/Dienstleistungen („GHD“) zum Einsatz kommen.

Beim Nachweis der energiebedingten CO₂-Emissionen wird zwischen den CO₂-Emissionen aus der sogenannten Quellenbilanz und aus der sogenannten Verursacherbilanz unterschieden:

Die Quellenbilanz ist maßgeblich für das Treibhausgasmonitoring. Sie ermöglicht Aussagen über die Gesamtmenge der im Land emittierten energiebedingten CO₂-Emissionen von der Entstehens- bzw. Aufkommenseite. Dabei werden auch die Emissionen ausgewiesen, die beim Einsatz fossiler Energieträger für die heimische Stromerzeugung entstehen – auch, wenn ein Teil der produzierten Strommenge exportiert wird. Die Emissionen aus Stromimporten bleiben dagegen unberücksichtigt. Somit gibt es keine direkten Rückschlüsse über die CO₂-Emissionen der Endenergieverbraucher eines Landes. Rheinland-Pfalz schneidet bei den nach der

¹⁰ Der LAK Energiebilanzen veröffentlicht auf seiner Homepage Daten zum Energieverbrauch und zu den CO₂-Emissionen aller Bundesländer sowie detaillierte Hintergrundinformationen zur Methodik: <http://www.lak-energiebilanzen.de> [Stand: 16.11.2023]. Die Ergebnisse gehen in die Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder ein.

Quellenbilanz ausgewiesenen Emissionen als Stromimportland im Vergleich zu den Strom exportierenden Ländern gut ab. Indirekt verursacht das Land aber Emissionen in den anderen Ländern.

Die Verursacherbilanz weist nach, wie viele CO₂-Emissionen in einem Land auf den Endenergieverbrauch zurückzuführen sind. Der Endenergieverbrauch umfasst die Verwendung von Energieträgern in den einzelnen Verbrauchsbereichen (Industrie, Verkehr und Haushalte/GHD). In der Verursacherbilanz werden die Emissionen aus den Umwandlungsprozessen den Endverbrauchsbereichen zugeordnet, in denen sie verursacht wurden. Für Strom erfolgt die Anrechnung der Emissionsmenge, die dem Endverbrauch zuzurechnen ist, auf der Grundlage des Brennstoffverbrauchs aller Stromerzeugungsanlagen in Deutschland. Der Grund hierfür ist, dass keine ausreichenden Informationen über die Lieferverflechtungen zwischen Rheinland-Pfalz und den anderen Bundesländern bzw. dem Ausland vorliegen. Es wird ein Berechnungsfaktor verwendet – der sogenannte Generalfaktor. Der Generalfaktor ergibt sich als Quotient aus der Summe der Emissionen der deutschen Stromerzeugungsanlagen, soweit sie für den inländischen Verbrauch produzieren, und der Summe des inländischen Stromendverbrauchs (einschließlich der Stromimporte). Aufgrund dieser modellhaften Vorgehensweise ist ein direkter Zusammenhang mit den tatsächlich in einem Bundesland angefallenen Emissionen, die in der Quellenbilanz dargestellt werden, nicht gegeben. Für die umfassende Betrachtung und Interpretation der rheinland-pfälzischen Verhältnisse ist es jedoch sinnvoll, die Ergebnisse aus beiden Bilanzierungsmethoden heranzuziehen. Aufgrund des vergleichsweise hohen Anteils von Importstrom in Rheinland-Pfalz ergeben sich im Hinblick auf die Höhe des CO₂-Gesamtausstoßes bei den Verfahren erhebliche Unterschiede.

Die energiebedingten CO₂-Emissionen werden entsprechend des Energieverbrauchs durch ökonomische, gesellschaftliche und natürliche Rahmenbedingungen beeinflusst. Wesentliche ökonomische Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs und damit auch der energiebedingten Emissionen sind die konjunkturelle Entwicklung, die Wirtschaftsstruktur und die Preisentwicklungen auf den Energiemärkten. Zu den gesellschaftlichen Bestimmungsfaktoren zählen die demografische Entwicklung, aber auch Aspekte wie die Zahl der Haushalte sowie die Entwicklung der Wohn- und der Verkehrsverhältnisse. Die Entwicklung der energiebedingten Emissionen unterliegt kräftigen kurzfristigen Schwankungen. Neben den konjunkturellen Schwankungen, die sich auf den Energieverbrauch auswirken, sind hierfür zudem die natürlichen Gegebenheiten, insbesondere die Witterungsbedingungen, verantwortlich.

Neben den CO₂-Emissionen aus dem Energieverbrauch gehören die sogenannten prozessbedingten CO₂-Emissionen der Industrie und die nicht-energiebedingten CO₂-Emissionen aus der Landwirtschaft zum Emissionsinventar:

Die prozessbedingten CO₂-Emissionen werden bei chemischen Reaktionen im Rahmen bestimmter Produktionsprozesse in der Industrie direkt freigesetzt. Nach der Methodenkonvention des LAK Energiebilanzen gehen die Produktionsmengen der Herstellung von Hüttenaluminium, Zementklinker, Kalk, Glas, Ammoniak, Ziegel und Ruß in die Berechnungen ein. Die Produktionsmengen werden mit spezifischen Emissionsfaktoren multipliziert, die das UBA im Rahmen der Nationalen Inventarberichte zum deutschen Treibhausgasinventar veröffentlicht. Die nicht-energiebedingten CO₂-Emissionen aus der Landwirtschaft sind Teil der umfassenden Treibhausgasberichterstattung in den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder. Ermittelt werden die Emissionen aber durch das Thünen-Institut. Die CO₂-Emissionen resultieren aus der Anwendung von Harnstoff- und Kalkdünger.

Methan und Lachgas

Methan- und Lachgasemissionen werden im AK UGRdL nach einer einheitlichen Methode für alle Bundesländer ermittelt.¹¹ Die Grundlage für die Berechnungsmethode auf der Länderebene ist die jährliche NIR-Berichterstattung des Umweltbundesamtes. In die Berechnungen fließen Daten aus den Energiebilanzen der Länder sowie aus verschiedenen Statistiken der Bereiche Landwirtschaft, Industrie, Abfall- und Wasserwirtschaft ein.

Zur Vergleichbarkeit müssen die Emissionsmengen von Methan und Lachgas in die entsprechende Menge Kohlendioxid umgerechnet werden (CO₂-Äquivalente). Die Umwandlungsfaktoren liegen bei 28 für Methan und bei 265 für Lachgas. Es handelt sich dabei um derzeit international gebräuchliche Faktoren, welche die Klimawirksamkeit bzw. das Treibhausgaspotenzial über einen Zeitraum von 100 Jahren im Vergleich zu Kohlendioxid widerspiegeln sollen.

¹¹ Der AK UGRdL veröffentlicht in dem gemeinsamen Statistikportal der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder unter anderem Daten zu den Treibhausgasemissionen aller Bundesländer sowie detaillierte Hintergrundinformationen zur Methodik: <https://www.statistikportal.de/de/ugrdl/ergebnisse> [Stand: 16.11.2023]. Die vorläufigen Daten für Rheinland-Pfalz 2021 werden Ende 2023 im Statistikportal veröffentlicht.

F-Gase

Die F-Gas-Emissionen sind ebenfalls Teil der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder. F-Gase weisen ein besonders hohes Treibhauspotenzial auf. Je nach Substanzart ist es etwa 100- bis 24 000-mal so hoch wie das von Kohlendioxid. Dennoch ist die Größenordnung gemessen in CO₂-Äquivalenten mit einem Anteil von rund 2% an den Gesamtemissionen sehr gering.

In der rheinland-pfälzischen Industrie werden F-Gase überwiegend als Treibmittel bei der Herstellung von Aerosolen (z. B. für medizinische Sprays) eingesetzt, während der Schwerpunkt in Deutschland bei der Verwendung als Kältemittel liegt. Daraus lassen sich zwar Informationen über das „Emissionspotenzial“ ableiten, aber tatsächlich werden die Emissionen oft erst mittel- bis langfristig innerhalb bzw. am Ende der Nutzungsdauer der Produkte klimawirksam freigesetzt. Es liegen keine Informationen über die in den Bundesländern freigesetzten F-Gas-Emissionen vor, weshalb der AK UGRdL derzeit eine einfache Verteilungsrechnung der Bundesergebnisse auf der Basis von Einwohnerdaten vornimmt. Schätzungen des AK UGRdL mit unterschiedlichen Annahmen und teils komplexeren Rechenmodellen kommen zu Ergebnissen in ähnlichen Größenordnungen.

Darstellung der Treibhausgasemissionen nach Sektoren

In diesem Bericht werden die Treibhausgase unterschiedlichen Sektoren bzw. Quellgruppen zugeordnet. Die Abgrenzung der Sektoren entspricht den Regelungen des Bundesklimaschutzgesetzes (KSG). Diese Abgrenzung unterscheidet sich von der in der internationalen Treibhausgas-Emissionsberichterstattung üblichen Gliederung der Emissionsinventare nach dem Common Reporting Format (CRF). Deshalb ist es notwendig, eine Umbuchung entsprechend der im KSG definierten Vorgaben vorzunehmen. Außerdem liegen die Treibhausgase auf der Länderebene im Gegensatz zu Deutschland nicht vollständig im CRF-Standard vor. Insbesondere für die energiebedingten CO₂-Emissionen war deshalb zunächst festzulegen, wie die Ergebnisse der CO₂-Quellenbilanz in den CRF-Standard überführt werden können. Hierfür gibt es derzeit noch keine abgestimmte länderübergreifende Vorgehensweise. Die in diesem Bericht dargestellte Sektoraufteilung ist deshalb nur eingeschränkt mit ähnlichen Berichten anderer Bundesländer vergleichbar. Bisher wurden die energiebedingten CO₂-Emissionen auf der Länderebene nach den Standards des LAK Energiebilanzen den Sektoren Industrie, Haushalte/GHD und Verkehr zugeordnet. Die Abgrenzung des LAK Energiebilanzen

ist aber weder direkt mit dem internationalen Berichtsformat noch mit den KSG-Sektoren vergleichbar.

Für Methan und Lachgas liegen über den AK UGRdL detaillierte Angaben nach dem CRF-Standard vor. Hier ist eine direkte Zuordnung zu den KSG-Sektoren nach den Vorschriften im KSG uneingeschränkt möglich. Die prozessbedingten CO₂-Emissionen und die F-Gase werden vollständig dem KSG-Sektor Industrie zugeordnet.

Anhang 37: Hauptkategorien nach dem internationalen Berichtsformat (CRF)¹

Quell- und Senkengruppen	
1. Energie	<ul style="list-style-type: none"> A. Verbrennung fossiler Brennstoffe <ul style="list-style-type: none"> 1. Energiewirtschaft 2. Verarbeitendes Gewerbe 3. Verkehr 4. Übrige Feuerungsanlagen <ul style="list-style-type: none"> davon Gewerbe, Handel, Dienstleistung davon Haushalte 5. Sonstige Feuerungsanlagen B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen <ul style="list-style-type: none"> 1. Feste Brennstoffe 2. Öl und Erdgas
2. Industrie	<ul style="list-style-type: none"> A. Mineralische Industrie B. Chemische Industrie C. Herstellung von Metall D. Nichtenergetische Produkte aus Brennstoffen E. Elektronikindustrie F. Anwendungen als ODS-Ersatzstoff G. Andere Produktherstellung und -verwendungen H. Andere
3. Landwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> A. Fermentation B. Düngewirtschaft D. Landwirtschaftliche Böden G. Kalkung H. Harnstoffanwendung I. Andere kohlenstoffhaltige Düngemittel J. Andere
4. LULUCF	<ul style="list-style-type: none"> A. Wälder B. Ackerland C. Grünland D. Feuchtgebiete E. Siedlungen G. Holzprodukte
5. Abfall	<ul style="list-style-type: none"> A. Abfalldeponierung B. Biologische Behandlung von festen Abfällen D. Abwasserbehandlung E. Andere
<p>¹Die Darstellung ist verkürzt und entspricht der Einteilung des Umweltbundesamtes in den Nationalen Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen. Für die detaillierte Darstellung im CRF-Standard siehe https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envyis0nw/index.html (Stand: 8. April 2022).</p>	
Quelle: Umweltbundesamt	
Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz	

Anhang 38: Abgrenzung der Sektoren in der Treibhausgasberichterstattung¹

Sektoren nach KSG	Beschreibung der Quellkategorien des Berichtsformats (CRF)	Quellkategorie CRF
1. Energiewirtschaft	Verbrennung von Brennstoffen in der Pipelinetransport (übriger Transport); Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen	1.A.1 1.A.3.e 1.B
2. Industrie	Verbrennung von Brennstoffen im verarbeitenden Gewerbe und in der Bauwirtschaft; Industrieprozesse und Produktverwendung; CO ₂ -Transport und -Lagerung	1.A.2 2 1.C
3. Gebäude	Verbrennung von Brennstoffen in: Handel und Behörden; Haushalten. Sonstige Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Brennstoffen (insbesondere in militärischen Einrichtungen)	1.A.4.a 1.A.4.b 1.A.5
4. Verkehr	Transport (ziviler inländischer Luftverkehr; Straßenverkehr; Schienenverkehr; inländischer Schiffsverkehr) ohne Pipelinetransport	1.A.3.a; 1.A.3.b; 1.A.3.c; 1.A.3.d
5. Landwirtschaft	Landwirtschaft; Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft und in der Fischerei	3 1.A.4.c
6. Abfallwirtschaft und	Abfall und Abwasser; Sonstige	5 6
7. LULUCF	Wald, Acker, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen; Holzprodukte; Änderungen zwischen Landnutzungskategorien	4
<p>¹Die Abgrenzung der Sektoren ist im Bundesklimaschutzgesetzes geregelt. Sie erfolgt auf der Basis der Kategorien des gemeinsamen Berichtsformats (CRF) nach der Europäischen Klimaberichterstattungsverordnung.</p> <p>Quelle: Bundesklimaschutzgesetz, Anlage 1 (zu den §§ 4 und 5)</p>		
		Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

5. 1 Treibhausgasemissionen seit 1990: Gesamtentwicklung und Bewertung

Anhang 39: Treibhausgasemissionen 1990 - 2021 nach Art der Gase

Treibhausgas	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
1 000 t CO ₂ -Äquivalente								
Kohlendioxid (CO ₂)	30 170	31 740	30 405	28 885	28 099	28 855	28 184	28 365
Methan (CH ₄)	4 337	3 016	1 978	1 616	1 563	1 526	1 485	1 459
Lachgas (N ₂ O)	14 607	2 707	1 030	838	821	790	769	730
F-Gase	580	630	682	724	683	650	576	548
Insgesamt	49 694	38 093	34 096	32 063	31 165	31 821	31 014	31 102
Anteil an den Emissionen insgesamt in %								
Kohlendioxid (CO ₂)	60,7	83,3	89,2	90,1	90,2	90,7	90,9	91,2
Methan (CH ₄)	8,7	7,9	5,8	5,0	5,0	4,8	4,8	4,7
Lachgas (N ₂ O)	29,4	7,1	3,0	2,6	2,6	2,5	2,5	2,3
F-Gase	1,2	1,7	2,0	2,3	2,2	2,0	1,9	1,8
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Veränderung in %								
Kohlendioxid (CO ₂)	.	5,2	-4,2	-5,0	-2,7	2,7	-2,3	0,6
Methan (CH ₄)	.	-30,5	-34,4	-18,3	-3,3	-2,4	-2,7	-1,8
Lachgas (N ₂ O)	.	-81,5	-61,9	-18,6	-2,1	-3,8	-2,6	-5,0
F-Gase	.	8,6	8,4	6,1	-5,7	-4,8	-11,4	-5,0
Insgesamt	.	-23,3	-10,5	-6,0	-2,8	2,1	-2,5	0,3
Messzahl: 1990=100								
Kohlendioxid (CO ₂)	100	105,2	100,8	95,7	93,1	95,6	93,4	94,0
Methan (CH ₄)	100	69,5	45,6	37,3	36,0	35,2	34,2	33,6
Lachgas (N ₂ O)	100	18,5	7,1	5,7	5,6	5,4	5,3	5,0
F-Gase	100	108,6	117,7	124,9	117,8	112,1	99,4	94,4
Insgesamt	100	76,7	68,6	64,5	62,7	64,0	62,4	62,6

Quellen: CO₂-Bilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Oktober 2023), Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (Berechnungsstand: September 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

5.2 Treibhausgasemissionen nach Sektoren

Anhang 40: Treibhausgasemissionen 1990 - 2021 nach Sektoren

Sektor	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
1 000 t CO ₂ -Äquivalente								
Industrie	23 973	12 622	12 124	11 325	10 971	10 740	10 901	11 275
Gebäude	9 259	8 649	7 959	7 382	7 680	8 211	8 283	8 091
Verkehr	7 578	9 900	8 654	9 106	8 625	8 706	7 901	7 939
Energiewirtschaft	3 796	3 402	2 977	2 132	1 826	2 139	1 959	1 869
Landwirtschaft	2 414	2 076	1 814	1 748	1 703	1 682	1 637	1 601
Abfallwirtschaft und Sonstiges	2 674	1 444	567	370	360	342	333	327
Insgesamt	49 694	38 093	34 096	32 063	31 165	31 821	31 014	31 102
Nachrichtlich:								
LULUCF	-1 566	-3 819	-4 213	-5 057	-3 842	-3 733	-2 892	-2 498
Insgesamt (mit Berücksichtigung LULUCF)	48 127	34 273	29 883	27 006	27 323	28 088	28 122	28 604
Anteil an den Emissionen insgesamt in %								
Industrie	48,2	33,1	35,6	35,3	35,2	33,8	35,1	36,3
Gebäude	18,6	22,7	23,3	23,0	24,6	25,8	26,7	26,0
Verkehr	15,2	26,0	25,4	28,4	27,7	27,4	25,5	25,5
Energiewirtschaft	7,6	8,9	8,7	6,6	5,9	6,7	6,3	6,0
Landwirtschaft	4,9	5,5	5,3	5,5	5,5	5,3	5,3	5,1
Abfallwirtschaft und Sonstiges	5,4	3,8	1,7	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Veränderung in %								
Industrie	.	-47,3	-3,9	-6,6	-3,1	-2,1	1,5	3,4
Gebäude	.	-6,6	-8,0	-7,3	4,0	6,9	0,9	-2,3
Verkehr	.	30,6	-12,6	5,2	-5,3	0,9	-9,2	0,5
Energiewirtschaft	.	-10,4	-12,5	-28,4	-14,4	17,1	-8,4	-4,6
Landwirtschaft	.	-14,0	-12,6	-3,7	-2,6	-1,2	-2,7	-2,2
Abfallwirtschaft und Sonstiges	.	-46,0	-60,7	-34,8	-2,7	-4,9	-2,7	-1,8
Insgesamt	.	-23,3	-10,5	-6,0	-2,8	2,1	-2,5	0,3
Messzahl: 1990=100								
Industrie	100	52,7	50,6	47,2	45,8	44,8	45,5	47,0
Gebäude	100	93,4	86,0	79,7	83,0	88,7	89,5	87,4
Verkehr	100	130,6	114,2	120,2	113,8	114,9	104,3	104,8
Energiewirtschaft	100	89,6	78,4	56,2	48,1	56,3	51,6	49,2
Landwirtschaft	100	86,0	75,2	72,4	70,5	69,7	67,8	66,3
Abfallwirtschaft und Sonstiges	100	54,0	21,2	13,8	13,5	12,8	12,5	12,2
Insgesamt	100	76,7	68,6	64,5	62,7	64,0	62,4	62,6

Quellen: CO₂-Bilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Oktober 2023), Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder bzw. Thünen-Institut (Berechnungsstand: September 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

5.3. CO₂-Emissionen aus dem Energieverbrauch

Anhang 41: Ausgewählte Indikatoren zu den CO₂-Emissionen in Rheinland-Pfalz und in Deutschland 1990 - 2021

Merkmal	Einheit	1990	1991	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
CO ₂ -Emissionen										
Rheinland-Pfalz										
nach der Quellenbilanz	Mill. t	27,5	29,5	28,9	27,9	27,0	26,4	27,1	26,2	26,4
nach der Verursacherbilanz	Mill. t	42,8	45,2	43,4	38,9	36,6	36,0	34,3	32,0	33,7
Deutschland	Mill. t	991,9	958,1	838,8	782,7	733,9	704,8	659,8	602,6	631,5
Rheinland-pfälzischer Anteil (Verursacherbilanz)	%	4,3	4,7	5,2	5,0	5,0	5,1	5,2	5,3	5,3
Messzahl: 1990=100										
Rheinland-Pfalz (Quellenbilanz)	1990=100	100	107,5	105,4	101,5	98,3	96,2	98,6	95,4	96,0
Rheinland-Pfalz (Verursacherbilanz)	1990=100	100	105,7	101,6	90,9	85,5	84,2	80,3	74,8	78,8
Deutschland	1990=100	100	96,6	84,6	78,9	74,0	71,1	66,5	60,8	63,7
Rheinland-Pfalz (Quellenbilanz)	1991=100	.	100	98,1	94,4	91,4	89,5	91,7	88,8	89,3
Rheinland-Pfalz (Verursacherbilanz)	1991=100	.	100	96,1	86,0	80,9	79,6	75,9	70,8	74,6
Deutschland	1991=100	.	100	87,5	81,7	76,6	73,6	68,9	62,9	65,9
je Einwohner/-in										
Rheinland-Pfalz (Quellenbilanz)	t	7,4	7,8	7,2	7,0	6,6	6,5	6,6	6,4	6,4
Rheinland-Pfalz (Verursacherbilanz)	t	11,5	11,9	10,8	9,7	9,0	8,8	8,4	7,8	8,2
Deutschland	t	12,5	12,0	10,3	9,7	8,9	8,5	7,9	7,2	7,6
CO ₂ -Intensität										
Rheinland-Pfalz (Quellenbilanz)	1991=100	.	100	91,7	81,9	70,9	69,3	70,7	71,0	65,7
Rheinland-Pfalz (Verursacherbilanz)	1991=100	.	100	89,8	74,6	62,7	61,7	58,6	56,6	54,8
Deutschland	1991=100	.	100	76,0	65,1	53,5	50,9	47,1	44,7	45,6
CO ₂ -Emissionen aus der Stromerzeugung										
Rheinland-Pfalz	g CO ₂ /kWh	469	509	361	256	188	163	164	161	160
Deutschland	g CO ₂ /kWh	764	764	644	556	487	473	411	375	420

Quellen: CO₂-Bilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Oktober 2023), Umweltbundesamt (Berechnungsstand: April 2023), Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder (Berechnungsstand: August 2022/Februar 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 42: CO₂-Emissionen (Quellenbilanz) 1990 - 2021 nach Energieträgern

Energieträger	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
1 000 t CO ₂								
Kohle	4 813	1 677	681	536	466	489	446	464
Mineralöle und Mineralölprodukte	15 803	15 875	13 282	12 970	12 710	13 252	12 246	11 448
Erdgas	6 837	11 248	12 459	11 708	11 558	11 694	12 016	12 790
Sonstige ¹	.	146	1 450	1 761	1 677	1 633	1 497	1 660
Insgesamt	27 453	28 946	27 872	26 976	26 411	27 068	26 204	26 361
Anteil an den CO ₂ -Emissionen insgesamt in %								
Kohle	17,5	5,8	2,4	2,0	1,8	1,8	1,7	1,8
Mineralöle und Mineralölprodukte	57,6	54,8	47,7	48,1	48,1	49,0	46,7	43,4
Erdgas	24,9	38,9	44,7	43,4	43,8	43,2	45,9	48,5
Sonstige ¹	.	0,5	5,2	6,5	6,3	6,0	5,7	6,3
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Veränderung in %								
Kohle	.	-65,2	-59,4	-21,3	-13,1	4,9	-8,7	3,9
Mineralöle und Mineralölprodukte	.	0,5	-16,3	-2,3	-2,0	4,3	-7,6	-6,5
Erdgas	.	64,5	10,8	-6,0	-1,3	1,2	2,7	6,4
Sonstige ¹	.	.	895,6	21,4	-4,8	-2,6	-8,3	10,9
Insgesamt	.	5,4	-3,7	-3,2	-2,1	2,5	-3,2	0,6
Messzahl: 1990=100								
Kohle	100	34,8	14,1	11,1	9,7	10,2	9,3	9,6
Mineralöle und Mineralölprodukte	100	100,5	84,0	82,1	80,4	83,9	77,5	72,4
Erdgas	100	164,5	182,2	171,3	169,1	171,0	175,7	187,1
Sonstige ¹	.	.	.	.	.	.	.	.
Insgesamt	100	105,4	101,5	98,3	96,2	98,6	95,4	96,0

1 Abfälle (fossile Fraktion), sonstige hergestellte Gase.

Quellen: CO₂-Bilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Oktober 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 43: CO₂-Emissionen (Quellenbilanz) 1990 - 2021 nach Emittenten

Emittentensektor	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
1 000 t CO ₂								
Umwandlungsbereich	4 396	3 489	5 292	4 819	4 089	4 312	4 227	4 248
darunter: Stromerzeugung	3 500	3 083	4 253	3 891	3 264	3 521	3 621	3 422
Endverbrauchsbereich	23 057	25 457	22 580	22 157	22 322	22 755	21 978	22 113
Industrie	6 009	6 840	5 333	5 250	5 488	5 424	5 559	5 856
Verkehr	7 484	9 796	9 139	9 363	9 002	8 971	7 976	8 008
darunter: Straßenverkehr	7 231	9 497	8 437	8 908	8 428	8 503	7 713	7 751
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, übrige Verbraucher	9 564	8 821	8 107	7 544	7 832	8 361	8 443	8 249
Insgesamt	27 453	28 946	27 872	26 976	26 411	27 068	26 204	26 361
Anteil an den CO ₂ -Emissionen insgesamt in %								
Umwandlungsbereich	16,0	12,1	19,0	17,9	15,5	15,9	16,1	16,1
darunter: Stromerzeugung	12,8	10,7	15,3	14,4	12,4	13,0	13,8	13,0
Endverbrauchsbereich	84,0	87,9	81,0	82,1	84,5	84,1	83,9	83,9
Industrie	21,9	23,6	19,1	19,5	20,8	20,0	21,2	22,2
Verkehr	27,3	33,8	32,8	34,7	34,1	33,1	30,4	30,4
darunter: Straßenverkehr	26,3	32,8	30,3	33,0	31,9	31,4	29,4	29,4
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, übrige Verbraucher	34,8	30,5	29,1	28,0	29,7	30,9	32,2	31,3
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Veränderung in %								
Umwandlungsbereich	.	-20,6	51,7	-8,9	-15,1	5,5	-2,0	0,5
darunter: Stromerzeugung	.	-11,9	38,0	-8,5	-16,1	7,9	2,8	-5,5
Endverbrauchsbereich	.	10,4	-11,3	-1,9	0,7	1,9	-3,4	0,6
Industrie	.	13,8	-22,0	-1,6	4,5	-1,2	2,5	5,3
Verkehr	.	30,9	-6,7	2,4	-3,9	-0,3	-11,1	0,4
darunter: Straßenverkehr	.	31,3	-11,2	5,6	-5,4	0,9	-9,3	0,5
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, übrige Verbraucher	.	-7,8	-8,1	-6,9	3,8	6,7	1,0	-2,3
Insgesamt	.	5,4	-3,7	-3,2	-2,1	2,5	-3,2	0,6
Messzahl: 1990=100								
Umwandlungsbereich	100	79,4	120,4	109,6	93,0	98,1	96,1	96,6
darunter: Stromerzeugung	100	88,1	121,5	111,2	93,2	100,6	103,4	97,8
Endverbrauchsbereich	100	110,4	97,9	96,1	96,8	98,7	95,3	95,9
Industrie	100	113,8	88,8	87,4	91,3	90,3	92,5	97,4
Verkehr	100	130,9	122,1	125,1	120,3	119,9	106,6	107,0
darunter: Straßenverkehr	100	131,3	116,7	123,2	116,5	117,6	106,7	107,2
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, übrige Verbraucher	100	92,2	84,8	78,9	81,9	87,4	88,3	86,3
Insgesamt	100	105,4	101,5	98,3	96,2	98,6	95,4	96,0

Quellen: CO₂-Bilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Oktober 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 44: CO₂-Emissionen (Verursacherbilanz) 1990 - 2021 nach Energieträgern

Energieträger	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
	1 000 t CO ₂							
Kohle	2 650	1 096	487	334	330	320	318	318
Mineralöle und Mineralölprodukte	15 554	15 836	13 233	12 935	12 677	13 231	12 230	11 417
Erdgas	5 429	8 525	8 177	7 968	8 500	8 404	8 732	9 505
Strom	18 805	17 571	15 283	13 618	12 841	10 731	9 414	10 772
Sonstige ¹	316	397	1 702	1 705	1 640	1 635	1 304	1 698
Insgesamt	42 755	43 426	38 881	36 560	35 988	34 320	31 997	33 711
	Anteil an den CO ₂ -Emissionen insgesamt in %							
Kohle	6,2	2,5	1,3	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9
Mineralöle und Mineralölprodukte	36,4	36,5	34,0	35,4	35,2	38,6	38,2	33,9
Erdgas	12,7	19,6	21,0	21,8	23,6	24,5	27,3	28,2
Strom	44,0	40,5	39,3	37,2	35,7	31,3	29,4	32,0
Sonstige ¹	0,7	0,9	4,4	4,7	4,6	4,8	4,1	5,0
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
	Veränderung in %							
Kohle	.	-58,7	-55,6	-31,3	-1,4	-3,0	-0,4	-0,1
Mineralöle und Mineralölprodukte	.	1,8	-16,4	-2,2	-2,0	4,4	-7,6	-6,6
Erdgas	.	57,0	-4,1	-2,6	6,7	-1,1	3,9	8,9
Strom	.	-6,6	-13,0	-10,9	-5,7	-16,4	-12,3	14,4
Sonstige ¹	.	25,9	328,2	0,2	-3,8	-0,3	-20,2	30,3
Insgesamt	.	1,6	-10,5	-6,0	-1,6	-4,6	-6,8	5,4
	Messzahl: 1990=100							
Kohle	100	41,3	18,4	12,6	12,4	12,1	12,0	12,0
Mineralöle und Mineralölprodukte	100	101,8	85,1	83,2	81,5	85,1	78,6	73,4
Erdgas	100	157,0	150,6	146,8	156,6	154,8	160,8	175,1
Strom	100	93,4	81,3	72,4	68,3	57,1	50,1	57,3
Sonstige ¹	100	125,9	539,1	540,0	519,5	517,8	413,0	537,9
Insgesamt	100	101,6	90,9	85,5	84,2	80,3	74,8	78,8

¹ Fernwärme, Abfälle (fossile Fraktion) und sonstige hergestellte Gase.

Quellen: CO₂-Bilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Oktober 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 45: CO₂-Emissionen (Verursacherbilanz) 1990 - 2021 nach Emittenten

Emittentensektor	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
1 000 t CO ₂								
Industrie	16 557	16 019	14 152	13 246	12 908	11 677	10 822	11 865
Verkehr	7 875	9 925	9 382	9 574	9 199	9 135	8 134	8 188
darunter: Straßenverkehr	7 231	9 497	8 437	8 911	8 432	8 508	7 722	7 773
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, übrige Verbraucher	18 322	17 482	15 347	13 740	13 880	13 508	13 042	13 658
Insgesamt	42 755	43 426	38 881	36 560	35 988	34 320	31 997	33 711
Anteil an den CO ₂ -Emissionen insgesamt in %								
Industrie	38,7	36,9	36,4	36,2	35,9	34,0	33,8	35,2
Verkehr	18,4	22,9	24,1	26,2	25,6	26,6	25,4	24,3
darunter: Straßenverkehr	16,9	21,9	21,7	24,4	23,4	24,8	24,1	23,1
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, übrige Verbraucher	42,9	40,3	39,5	37,6	38,6	39,4	40,8	40,5
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Veränderung in %								
Industrie	.	-3,3	-11,7	-6,4	-2,6	-9,5	-7,3	9,6
Verkehr	.	26,0	-5,5	2,1	-3,9	-0,7	-11,0	0,7
darunter: Straßenverkehr	.	31,3	-11,2	5,6	-5,4	0,9	-9,2	0,7
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, übrige Verbraucher	.	-4,6	-12,2	-10,5	1,0	-2,7	-3,5	4,7
Insgesamt	.	1,6	-10,5	-6,0	-1,6	-4,6	-6,8	5,4
Messzahl: 1990=100								
Industrie	100	96,7	85,5	80,0	78,0	70,5	65,4	71,7
Verkehr	100	126,0	119,1	121,6	116,8	116,0	103,3	104,0
darunter: Straßenverkehr	100	131,3	116,7	123,2	116,6	117,7	106,8	107,5
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, übrige Verbraucher	100	95,4	83,8	75,0	75,8	73,7	71,2	74,5
Insgesamt	100	101,6	90,9	85,5	84,2	80,3	74,8	78,8

Quellen: CO₂-Bilanzen Rheinland-Pfalz (Berechnungsstand: Oktober 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 46: CO₂-Emissionsfaktoren 2021 nach Energieträgern

Energieträger	Emissionsfaktor
	kg CO ₂ /GJ
Steinkohle	93,932
Steinkohlenkoks	107,846
Steinkohlenbriketts	95,913
Braunkohlenbriketts	99,169
Braunkohlenkoks	109,578
Staub- und Trockenkohle	97,527
Rohöl	73,300
Motorenbenzin	72,779
Flugbenzin	71,199
Flugturbinenkraftstoff, Petroleum	73,256
Dieselmkraftstoff	74,027
Heizöl, leicht	74,020
Heizöl, schwer	79,466
Petrolkoks	101,794
Flüssiggas	66,333
Andere Mineralölprodukte	81,870
Erdgas	55,786
Industriemüll	71,100
Hausmüll, Siedlungsabfall	91,500
Generalfaktor Strom (Kraftwerksmix Deutschland)	107,672
Fernwärme Rheinland-Pfalz (effektiver CO ₂ -Ausstoß)	47,238

Quelle: LAK Energiebilanzen, Stand: Januar 2023.

Anhang 47: Temperaturbereinigte CO₂-Emissionen (Quellenbilanz)¹ in Rheinland-Pfalz 2021

Emittentensektor	Energieträger					
	Insgesamt	davon				
		Stein- kohle	Braun- kohle	Mineralöle und Mineralöl- produkte	Gase	Abfälle (nicht biogen)
1 000 t CO ₂						
Wärme- und Stromerzeugung der allgemeinen Versorgung (ohne KWK)	532	-	-	0	358	174
Wärme- und Stromerzeugung der allgemeinen Versorgung (nur KWK)	715	53	-	0	548	114
Industrie- und Gewerbe- und Verkehrserzeugung	2 537	53	-	1	2 390	93
Heizwerke	409	0	39	28	171	170
Sonstige Energieerzeuger	0	-	-	0	0	-
Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungsbereichen	40	-	-	1	39	-
Fackelverluste	3	-	-	-	3	-
Umwandlungsbereich zusammen	4 236	106	39	30	3 509	551
Sonst. Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, Verarbeitendes Gewerbe	5 843	73	185	140	4 891	554
Verkehr	8 007	-	-	8 001	6	-
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	8 102	0	59	3 222	4 821	-
Endenergieverbrauchsbereich zusammen	21 953	73	244	11 363	9 719	554
Insgesamt	26 188	179	282	11 393	13 228	1 105

¹Einschließlich Emissionen für ausgeführten Strom, ohne Emissionen für eingeführten Strom, Berechnungsstand: Oktober 2023.

Anhang 48: CO₂-Emissionen (Verursacherbilanz) in Rheinland-Pfalz 2021

Emitenten-sektoren	Steinkohlen		Braunkohlen		Mineralöle und Mineralöprodukte										Gase			Elektrischer Strom und andere Energieträger			Energie-träger ins-gesamt
	Kohle (roh)	Koks	Bri-ketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Otto-kraftstoffe	Diesel-kraftstoffe	Flug-turbinen-kraftstoffe	Heizöl leicht	Heizöl schwer	Petrol-koks	Andere Mineral-öpro-dukte	Flüssig-gas	Erdgas, Erdöl-gas	Sonstige hergestellte Gase	Strom	Fern-wärme	Abfälle (nicht biogen)		
																				1		20	5	1	14	4 585	360	5 620	347	554	11 865

1 000 Tonnen CO₂

Gewinnung von Steinen, Erden, Bergbau, Verarbeitendes Gewerbe	41	32	-	185	-	-	-	1	-	101	20	5	1	14	4 585	360	5 620	347	554	11 865
Schieneverkehr	-	-	-	-	-	-	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	158	-	-	216
Straßenverkehr	-	-	-	-	-	2 979	4 737	-	-	-	-	-	-	28	6	-	22	-	-	7 773
Luftverkehr	-	-	-	-	-	3	0	154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	157
Küsten- und Binnenschifffahrt	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41
Verkehr insgesamt	-	-	-	-	-	2 982	4 837	154	-	-	-	-	-	28	6	-	180	-	-	8 188
Haushalte, GHD, übrige Verbraucher	0	-	60	-	-	-	71	445	-	2 555	-	-	6	198	4 914	-	4 972	436	-	13 658
Emissionen	41	32	60	185	-	-	3 053	5 282	154	2 666	20	5	7	241	9 505	360	10 772	783	554	33 711

Berechnungsstand: Oktober 2023

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 49: Temperaturbereinigte CO₂-Emissionen (Verursacherbilanz) in Rheinland-Pfalz 2021

Emissionen	Steinkohlen		Braunkohlen		Minerale und Mineralöprodukte										Gase			Elektrischer Strom und andere Energieträger		Energie-träger ins-gesamt
	Kohle (roh)	Koks	Bri-ketts	Andere Braunkohlenprodukte	Erdöl (roh)	Rohbenzin	Otto-kraftstoffe	Diesel-kraftstoffe	Flug-turbinen-kraftstoffe	Heizöl leicht	Heizöl schwer	Petrol-koks	Andere Mineralöprodukte	Flüssig-gas	Erdgas, Erdöl-gas	Sonstige hergestellte Gase	Strom	Fern-wärme	Abfälle (nicht biogen)	
1 000 Tonnen CO ₂																				
Gewinnung von Steinen, Erden, Bergbau, Verarbeitendes Gewerbe	41	32	-	185	-	-	-	1	-	101	20	5	1	14	4 573	360	5 619	346	554	11 851
Straßenverkehr	-	-	-	-	-	-	2 979	4 737	-	-	-	-	-	-	6	-	22	-	-	7 772
Luftverkehr	-	-	-	-	-	3	0	154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	157
Küsten- und Binnenschifffahrt	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41
Verkehr insgesamt	-	-	-	-	-	-	2 982	4 836	154	-	-	-	-	28	6	-	180	-	-	8 187
Haushalte, GHD, übrige Verbraucher	0	-	59	-	-	-	71	445	-	2 506	-	-	6	194	4 821	-	4 966	429	-	13 497
Emissionen	41	32	59	185	-	-	3 052	5 282	154	2 607	20	5	7	237	9 400	360	10 765	775	554	33 535

Berechnungsstand: Oktober 2023

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

5.4. CO₂-Emissionen aus Produktionsprozessen (nicht energiebedingt) und weitere Treibhausgasemissionen

Anhang 50: Methanemissionen 1990 - 2021 nach Sektoren

Sektor	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
1 000 t CO ₂ -Äquivalente								
Landwirtschaft	1 239	1 136	982	917	902	898	878	851
Abfallwirtschaft und Sonstiges	2 626	1 399	534	329	322	305	297	293
Energiewirtschaft	308	316	279	189	167	155	142	141
Industrie	25	84	100	107	98	95	100	101
Gebäude	75	51	69	61	61	61	58	62
Verkehr	64	30	15	13	13	13	10	10
Insgesamt	4 337	3 016	1 978	1 616	1 563	1 526	1 485	1 459
Nachrichtlich								
LULUCF	7	7	7	8	8	8	8	8
Insgesamt (mit Berücksichtigung LULUCF)	4 344	3 023	1 986	1 623	1 570	1 533	1 493	1 467
Anteil an den Methanemissionen insgesamt in %								
Landwirtschaft	28,6	37,7	49,6	56,8	57,7	58,9	59,1	58,4
Abfallwirtschaft und Sonstiges	60,6	46,4	27,0	20,3	20,6	20,0	20,0	20,1
Energiewirtschaft	7,1	10,5	14,1	11,7	10,7	10,1	9,5	9,7
Industrie	0,6	2,8	5,0	6,6	6,3	6,2	6,7	6,9
Gebäude	1,7	1,7	3,5	3,8	3,9	4,0	3,9	4,3
Verkehr	1,5	1,0	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Nachrichtlich								
LULUCF	.	.	.	.	.	.	.	.
Insgesamt (mit Berücksichtigung LULUCF)	.	.	.	.	.	.	.	.

Quellen: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (Berechnungsstand: September 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 51: Lachgasemissionen 1990 - 2021 nach Sektoren

Sektor	1990	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
1 000 t CO ₂ -Äquivalente								
Landwirtschaft	631	581	522	511	490	481	462	457
Industrie	13 850	1 964	369	165	172	148	155	124
Verkehr	30	74	59	78	80	81	74	74
Abfallwirtschaft und Sonstiges	48	44	33	41	38	38	36	34
Gebäude	32	24	25	24	25	26	26	26
Energiewirtschaft	15	20	22	19	15	17	17	17
Insgesamt	14 607	2 707	1 030	838	821	790	769	730
Nachrichtlich								
LULUCF	31	31	33	32	32	33	34	44
Insgesamt (mit Berücksichtigung LULUCF)	14 638	2 738	1 063	870	853	822	803	774
Anteil an den Lachgasemissionen insgesamt in %								
Landwirtschaft	4,3	21,5	50,6	61,0	59,7	60,9	60,0	62,5
Industrie	94,8	72,5	35,9	19,7	21,0	18,7	20,2	16,9
Verkehr	0,2	2,7	5,7	9,3	9,8	10,2	9,6	10,1
Abfallwirtschaft und Sonstiges	0,3	1,6	3,2	4,9	4,6	4,8	4,7	4,7
Gebäude	0,2	0,9	2,4	2,9	3,1	3,3	3,3	3,5
Energiewirtschaft	0,1	0,8	2,2	2,3	1,8	2,1	2,2	2,3
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
Nachrichtlich								
LULUCF	.	.	.	.	.	.	.	.
Insgesamt (mit Berücksichtigung LULUCF)	.	.	.	.	.	.	.	.

Quellen: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (Berechnungsstand: September 2023)

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

6. Entwicklung der energiebedingten Emissionen von SO₂ und NO_x

Quellenangaben für die Emissionsfaktoren

- HBEFA-Online-Datenbank unter: <https://www.hbefa.net/de/software#online-version> [Stand: 06.11.2023]
- INFRAS 2022: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs 4.2, online unter: <https://www.hbefa.net/de/methodik/> [Stand: 06.11.2023]
- Ökopoll 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) 2023: Spezifische Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix, online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/spezifische-emissionsfaktoren-fuer-den-deutschen> [Stand: 06.11.2023]
- Umweltbundesamt (UBA) 2020: Texte 117/2020: 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/publikationen/aktualisierung-tremod-mm-2019> [Stand: 06.11.2023]
- Umweltbundesamt (UBA) 2023: German Informative Inventory Report, online unter: <https://iir.umweltbundesamt.de/> [Stand: 06.11.2023]

Anhang 52: SO₂-Emissionen (Quellenbilanz) 2005 - 2021 nach Energieträgern

Jahr	Insgesamt	Kohle	Mineralöle und Mineralöl- produkte	Erdgas	Biomasse ¹	Abfälle (nicht biogen)	Sonstige Energieträger
Tonnen							
2005	5 617	829	4 348	56	375	8	1
2018	2 895	814	1 178	21	822	43	18
2019	2 498	669	975	21	772	43	17
2020	2 299	633	763	22	826	41	14
2021	2 383	654	739	23	905	45	16
Anteil in %							
2005	100	14,8	77,4	1,0	6,7	0,1	0,0
2018	100	28,1	40,7	0,7	28,4	1,5	0,6
2019	100	26,8	39,0	0,8	30,9	1,7	0,7
2020	100	27,5	33,2	0,9	35,9	1,8	0,6
2021	100	27,4	31,0	1,0	38,0	1,9	0,7
Veränderung in %							
2005	.	.	.	.	.	.	.
2018	-48,5	-1,8	-72,9	-63,0	119,4	407,5	2 090,4
2019	-13,7	-17,8	-17,2	1,1	-6,0	0,8	-8,6
2020	-8,0	-5,3	-21,8	2,6	6,9	-3,6	-16,3
2021	3,7	3,3	-3,1	6,5	9,6	8,8	16,2
Messzahl: 2005 = 100							
2005	100	100	100	100	100	100	100
2018	51,5	98,2	27,1	37,0	219,4	507,5	2 190,4
2019	44,5	80,7	22,4	37,4	206,2	511,4	2 001,0
2020	40,9	76,4	17,5	38,4	220,4	492,9	1 675,1
2021	42,4	78,9	17,0	40,9	241,6	536,5	1 947,0

¹ enthält auch Klärgas und Deponiegas.

Berechnungsstand: September 2023

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 53: SO₂-Emissionen (Quellenbilanz) 2005 - 2021 nach Verbrauchergruppen

Jahr	Insgesamt	Umwandlung	Industrie	Verkehr	Haushalte und Kleinverbraucher ¹
------	-----------	------------	-----------	---------	---

Tonnen

2005	5 617	423	870	216	4 108
2018	2 895	802	585	171	1 337
2019	2 498	743	472	142	1 140
2020	2 299	774	457	85	983
2021	2 383	872	475	83	952

Anteil in %

2005	100	7,5	15,5	3,9	73,1
2018	100	27,7	20,2	5,9	46,2
2019	100	29,7	18,9	5,7	45,7
2020	100	33,7	19,9	3,7	42,7
2021	100	36,6	20,0	3,5	40,0

Veränderung in %

2005	.	.	.	.	.
2018	-48,5	89,7	-32,7	-20,8	-67,5
2019	-13,7	-7,4	-19,2	-17,1	-14,7
2020	-8,0	4,3	-3,3	-40,0	-13,8
2021	3,7	12,6	4,1	-2,1	-3,1

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100	100
2018	51,5	189,7	67,3	79,2	32,5
2019	44,5	175,7	54,3	65,6	27,8
2020	40,9	183,2	52,5	39,4	23,9
2021	42,4	206,2	54,7	38,5	23,2

1 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Berechnungsstand: September 2023

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 54: SO₂-Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 - 2021 nach Energieträgern

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

Tonnen

2005	22 506	750	4 273	47	123	17 145	162	6
2018	7 494	717	1 123	15	205	5 225	175	34
2019	7 058	569	931	15	207	5 138	165	33
2020	6 782	557	725	16	198	5 075	182	29
2021	7 539	565	679	17	215	5 717	311	36

Anteil in %

2005	100	3,3	19,0	0,2	0,5	76,2	0,7	0,0
2018	100	9,6	15,0	0,2	2,7	69,7	2,3	0,5
2019	100	8,1	13,2	0,2	2,9	72,8	2,3	0,5
2020	100	8,2	10,7	0,2	2,9	74,8	2,7	0,4
2021	100	7,5	9,0	0,2	2,9	75,8	4,1	0,5

Veränderung in %

2005	.	.	.	.	.	.	.	.
2018	-66,7	-4,5	-73,7	-67,2	67,4	-69,5	8,6	443,0
2019	-5,8	-20,6	-17,1	-1,2	0,6	-1,7	-6,1	-2,0
2020	-3,9	-2,2	-22,1	3,8	-4,4	-1,2	10,5	-11,6
2021	11,2	1,4	-6,4	8,9	8,9	12,6	70,9	21,2

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100	100	100	100	100
2018	33,3	95,5	26,3	32,8	167,4	30,5	108,6	543,0
2019	31,4	75,9	21,8	32,4	168,4	30,0	101,9	532,2
2020	30,1	74,2	17,0	33,6	161,0	29,6	112,6	470,4
2021	33,5	75,2	15,9	36,6	175,4	33,3	192,5	570,1

1 enthält auch Klärgas und Deponiegas.

Berechnungsstand: September 2023

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 55: SO₂-Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 - 2021 nach Verbrauchergruppen

Jahr	Insgesamt	Industrie	Verkehr	Haushalte und Kleinverbraucher ¹
------	-----------	-----------	---------	---

Tonnen

2005	22 506	10 110	490	11 906
2018	7 494	3 597	247	3 649
2019	7 058	3 445	215	3 398
2020	6 782	3 346	161	3 275
2021	7 539	3 754	163	3 622

Anteil in %

2005	100	44,9	2,2	52,9
2018	100	48,0	3,3	48,7
2019	100	48,8	3,0	48,2
2020	100	49,3	2,4	48,3
2021	100	49,8	2,2	48,0

Veränderung in %

2005	.	.	.	.
2018	-66,7	-64,4	-49,6	-69,3
2019	-5,8	-4,2	-13,2	-6,9
2020	-3,9	-2,9	-24,8	-3,6
2021	11,2	12,2	1,3	10,6

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100
2018	33,3	35,6	50,4	30,7
2019	31,4	34,1	43,8	28,5
2020	30,1	33,1	32,9	27,5
2021	33,5	37,1	33,3	30,4

¹ Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Berechnungsstand: September 2023

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 56: NO_x-Emissionen (Quellenbilanz) 2005 - 2021 nach Energieträgern

Jahr	Insgesamt	Kohle	Mineralöle und Mineralöl- produkte	Erdgas	Biomasse ¹	Abfälle (nicht biogen)	Sonstige Energieträger
Tonnen							
2005	64 516	439	52 266	8 314	3 349	129	20
2018	39 628	437	25 315	7 310	5 517	654	396
2019	38 764	435	24 886	6 861	5 561	659	361
2020	35 788	407	21 500	7 089	5 855	635	303
2021	36 634	419	21 424	7 525	6 223	691	352
Anteil in %							
2005	100	0,7	81,0	12,9	5,2	0,2	0,0
2018	100	1,1	63,9	18,4	13,9	1,7	1,0
2019	100	1,1	64,2	17,7	14,3	1,7	0,9
2020	100	1,1	60,1	19,8	16,4	1,8	0,8
2021	100	1,1	58,5	20,5	17,0	1,9	1,0
Veränderung in %							
2005	.	.	.	.	.	.	.
2018	-38,6	-0,5	-51,6	-12,1	64,7	407,5	1 910,8
2019	-2,2	-0,3	-1,7	-6,1	0,8	0,8	-8,6
2020	-7,7	-6,5	-13,6	3,3	5,3	-3,6	-16,3
2021	2,4	3,0	-0,3	6,1	6,3	8,8	16,2
Messzahl: 2005 = 100							
2005	100	100	100	100	100	100	100
2018	61,4	99,5	48,4	87,9	164,7	507,5	2 010,8
2019	60,1	99,2	47,6	82,5	166,0	511,4	1 836,9
2020	55,5	92,7	41,1	85,3	174,8	492,9	1 537,8
2021	56,8	95,5	41,0	90,5	185,8	536,5	1 787,4

¹ enthält auch Klärgas und Deponiegas.

Berechnungsstand: September 2023

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 57: NO_x-Emissionen (Quellenbilanz) 2005 - 2021 nach Verbrauchergruppen

Jahr	Insgesamt	Umwandlung	Industrie	Verkehr	Haushalte und Kleinverbraucher
------	-----------	------------	-----------	---------	--------------------------------

Tonnen

2005	64 516	5 007	3 495	50 482	5 533
2018	39 628	5 273	4 624	25 061	4 671
2019	38 764	4 823	4 474	24 693	4 774
2020	35 788	4 985	4 548	21 524	4 733
2021	36 634	5 251	4 815	21 759	4 809

Anteil in %

2005	100	7,8	5,4	78,2	8,6
2018	100	13,3	11,7	63,2	11,8
2019	100	12,4	11,5	63,7	12,3
2020	100	13,9	12,7	60,1	13,2
2021	100	14,3	13,1	59,4	13,1

Veränderung in %

2005	.	.	.	.	.
2018	-38,6	5,3	32,3	-50,4	-15,6
2019	-2,2	-8,5	-3,3	-1,5	2,2
2020	-7,7	3,4	1,7	-12,8	-0,9
2021	2,4	5,4	5,9	1,1	1,6

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100	100
2018	61,4	105,3	132,3	49,6	84,4
2019	60,1	96,3	128,0	48,9	86,3
2020	55,5	99,6	130,1	42,6	85,5
2021	56,8	104,9	137,8	43,1	86,9

Berechnungsstand: September 2023

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 58: NO_x-Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 - 2021 nach Energieträgern

Jahr	Insgesamt	Kohle	Mineralöle und Mineralöl- produkte	Erdgas	Biomasse ¹	Strom	Fernw ärme	Sonstige Energie- träger
------	-----------	-------	---	--------	-----------------------	-------	------------	--------------------------------

Tonnen

2005	75 416	345	52 190	4 395	2 498	14 773	1 120	95
2018	45 786	340	25 220	4 840	3 426	10 418	952	591
2019	45 094	317	24 802	4 695	3 595	10 245	862	577
2020	41 797	316	21 424	4 942	3 656	10 121	840	497
2021	43 645	315	21 330	5 329	3 828	10 897	1 335	611

Anteil in %

2005	100	0,5	69,2	5,8	3,3	19,6	1,5	0,1
2018	100	0,7	55,1	10,6	7,5	22,8	2,1	1,3
2019	100	0,7	55,0	10,4	8,0	22,7	1,9	1,3
2020	100	0,8	51,3	11,8	8,7	24,2	2,0	1,2
2021	100	0,7	48,9	12,2	8,8	25,0	3,1	1,4

Veränderung in %

2005	.	.	.	.	.	.	.	.
2018	-39,3	-1,5	-51,7	10,1	37,2	-29,5	-15,0	518,8
2019	-1,5	-6,6	-1,7	-3,0	4,9	-1,7	-9,4	-2,4
2020	-7,3	-0,4	-13,6	5,3	1,7	-1,2	-2,6	-13,7
2021	4,4	-0,4	-0,4	7,8	4,7	7,7	58,9	22,9

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100	100	100	100	100
2018	60,7	98,5	48,3	110,1	137,2	70,5	85,0	618,8
2019	59,8	92,0	47,5	106,8	143,9	69,4	77,0	603,8
2020	55,4	91,7	41,1	112,4	146,4	68,5	75,0	520,8
2021	57,9	91,3	40,9	121,2	153,3	73,8	119,2	639,9

¹ enthält auch Klärgas und Deponiegas.

Berechnungsstand: September 2023

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Anhang 59: NO_x-Emissionen (Verursacherbilanz) 2005 - 2021 nach Verbrauchergruppen

Jahr	Insgesamt	Industrie	Verkehr	Haushalte und Kleinverbraucher
------	-----------	-----------	---------	--------------------------------

Tonnen

2005	75 416	11 561	50 718	13 137
2018	45 786	11 098	25 212	9 477
2019	45 094	10 759	24 838	9 497
2020	41 797	10 619	21 675	9 503
2021	43 645	11 473	21 911	10 261

Anteil in %

2005	100	15,3	67,3	17,4
2018	100	24,2	55,1	20,7
2019	100	23,9	55,1	21,1
2020	100	25,4	51,9	22,7
2021	100	26,3	50,2	23,5

Veränderung in %

2005	.	.	.	.
2018	-39,3	-4,0	-50,3	-27,9
2019	-1,5	-3,1	-1,5	0,2
2020	-7,3	-1,3	-12,7	0,1
2021	4,4	8,0	1,1	8,0

Messzahl: 2005 = 100

2005	100	100	100	100
2018	60,7	96,0	49,7	72,1
2019	59,8	93,1	49,0	72,3
2020	55,4	91,8	42,7	72,3
2021	57,9	99,2	43,2	78,1

Berechnungsstand: September 2023

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
KLIMASCHUTZ, UMWELT,
ENERGIE UND MOBILITÄT

Kaiser-Friedrich-Str. 1
55116 Mainz

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