

Grundlagenbericht für die kantonale Energieplanung

Berichterstattung über das Ziel nach § 2 Abs. 4 EnG BL, Analyse
des Ist-Zustands des Gebäudeparks und Potenzialanalysen

Schlussbericht vom 08. Februar 2022

Auftraggeber

Auftraggeber:

Amt für Umweltschutz und Energie, Kanton BL

Rheinstrasse 29, CH-4410 Liestal

Tel. +061 552 51 11

ae.umwelt@bl.ch

<https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/direktionen/bau-und-umweltschutzdirektion/umweltschutz-energie>

Auftragnehmer

TEP Energy GmbH

Rotbuchstrasse 68, CH-8037 Zürich

www.tep-energy.ch

Telefon +41 43 500 71 71

Autoren

Dr. Martin Jakob (Projektleitung), TEP Energy

Dr. Giacomo Catenazzi, TEP Energy

Benjamin Sunarjo, TEP Energy

Jonas Müller, TEP Energy

Dr. Deborah Zulliger, TEP Energy

Begleitgruppe

Christoph Plattner (Leitung), Amt für Umweltschutz und Energie, Kanton BL

Felix Jehle, Amt für Umweltschutz und Energie, Kanton BL

Luca Huesler, Statistisches Amt, Kanton BL

Die Autoren danken den Mitgliedern der Begleitgruppe für ihre Begleitung und ihre Beiträge zur vorliegenden Studie und beim Amt für Umweltschutz und Energie für den Auftrag und für das Vertrauen.

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhalt

Glossar und Abkürzungsverzeichnis	1
1 Einleitung	3
1.1 Ausgangslage	3
1.2 Zielsetzung	4
2 Vorgehen	5
2.1 Belastbarkeit der spezifischen Heizwärmeverbräuche	5
2.2 Entwicklung einer Methodik für Berichterstattung zu § 2 Abs. 4 EnG BL	6
2.3 Erarbeiten von Grundlagen für die kantonale Energieplanung	6
3 Berechnung des spezifischen Heizwärmebedarfs	8
3.1 Flächenspezifische Einflussfaktoren	8
3.2 Energetische Einflussfaktoren auf den durchschnittlichen Heizwärmebedarf	15
3.3 Empfehlungen zur Methodik für die Berechnung des spezifischen Heizwärmebedarfs	16
4 Analyse des Ist-Zustands des Gebäudeparks des Kantons BL	18
4.1 Vergangene Erneuerungstätigkeit	18
4.2 Energie- und Klimaindikatoren	22
4.3 Empfehlungen zu den Energie- und Klimaindikatoren	26
5 Räumliche Energieanalyse und Potenziale	27
5.1 Dezentrale, gebäudebezogene Potenziale	27
5.2 Räumliche Potenziale von ortsgebundenen Energiequellen	28
5.3 Zuordnung nachfrageseitige Cluster und räumliche Potenziale	29
5.4 Fazit räumliche Energie- und Potenzialanalysen	33
6 Literaturverzeichnis	34

7	Anhang	35
7.1	Zusätzliche Informationen statistische Modelle	35
7.2	Heizenergieträger Erhebung	35
7.3	Vergleich Modellergebnisse vs. Statistik	36

Glossar und Abkürzungsverzeichnis

AG	Aargau
ARA	Abwasserreinigungsanlage
BGF	Bruttogeschossfläche
BL	Basellandschaft
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
dWPE	dezentrale Erdsonden-Wärmepumpe
dWPL	dezentrale Luft/Wasser-Wärmepumpe
EBF	Energiebezugsfläche
eBO	energetische Betriebsoptimierung
EFH	Einfamilienhaus
EHS	Emissionshandelssystem
EnG	Energiegesetz
EKZ	Energiekennzahl
EV	Energieverbund
GBAUP	Bauperiode
GEAK	Gebäudeenergieausweis der Kantone
GIS	Geoinformationssystem
GKLAS	Gebäudeklasse
GPM	Gebäudeparkmodell
GWh	Gigawattstunde (eine Million kWh)
GWR	Gebäude- und Wohnungsregister
HK	Heizkoeffizient
IWB	Industrielle Werke Basel
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
kWh	Kilowattstunde (1000 kWh)
kW	Kilowatt (1000 Watt)
LCA	Life cycle assessment
Log	natürliche Logarithmus
MFH	Mehrfamilienhaus
NEM	Nachweise energetische Massnahmen
NG	Nutzungsgrad

NWG	Nichtwohngebäude
REA	Räumliche Energieanalyse
RW	Raumwärme
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
TEP	Technology Economy Policy
WIS	Wärmeinitiative Schweiz
WP	Wärmepumpe
WW	Warmwasser



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Das totalrevidierte Energiegesetz des Kantons BL (EnG BL, 2016), das Anfang 2017 in Kraft trat, sieht unter anderem die folgenden Ziele vor, welche mit entsprechenden Indikatoren charakterisiert werden:

- Ziel und Indikator I: Der Endenergieverbrauch im Kanton ohne Mobilität ist bis zum Jahr 2050 um 40 % gegenüber dem Jahr 2000 (6'500 GWh) zu reduzieren.
- Ziel und Indikator II: Der Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch (ohne Mobilität) soll bis zum Jahr 2030 auf mindestens 40 % gesteigert werden.
- Ziel und Indikator III: Im Gebäudebereich soll bis zum Jahr 2030 der Heizwärmebedarf für Neubauten auf durchschnittlich 20 kWh pro Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF) und Jahr gesenkt werden.
- Ziel und Indikator IV: Im Gebäudebereich soll bis zum Jahr 2050 der nicht erneuerbare Heizwärmebedarf für bestehende Bauten auf durchschnittlich 40 kWh pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr gesenkt werden.

Gemäss §2 des Energiegesetzes, muss die Wirksamkeit der Massnahmen zur Zielerreichung periodisch überprüft werden. Ausserdem hat der Regierungsrat im Jahr 2021 nach § 3 Abs. 1 dem

Landrat erstmals über die Kantonale Energieplanung Bericht zu erstatten. Eine solche Überprüfung bietet grundsätzlich auch die Gelegenheit zu hinterfragen, ob ggf. die Ziele des Energiegesetzes anzupassen sind. Daraus erwachsen dem Kanton BL u.a. die zwei folgenden grundlegenden Bedürfnisse:

- Entwicklung einer Methodik zur Berichterstattung des Indikators «nicht-erneuerbarer Heizwärmebedarf» nach § 2 Abs. 4 EnG BL, um die entsprechenden Anforderungen des EnG zu erfüllen
- Überprüfen, ob zusätzliche energie- und klimapolitische Massnahmen zu ergreifen sind, dies namentlich vor dem Hintergrund der sich in Überarbeitung befindlichen energie- und klimapolitischen Zielen des Bundes und der im Kanton hängigen Vorstösse bzgl. der Ziele des EnG des Kantons BL.

Gemäss o.g. Pflichtenheft stehen folgende Arbeitspakete im Zentrum dieses Grundlagenberichts:

1. Beurteilung der Belastbarkeit der spezifischen Heizwärmeverbräuche
2. Entwicklung einer Methodik für die Berechnung des durchschnittlichen spezifischen Heizwärmebedarfs der bestehenden Bauten im Kanton BL
3. Erarbeiten von Grundlagen für die kantonale Energieplanung, u.a. für Wirkungsabschätzung

Aufgebaut wird auf laufende Arbeiten von TEP Energy zur Berichterstattung der Kantone zu den CO₂-Emissionen im Gebäudebereich (Jakob, Catenazzi, Sunarjo, Müller, & Weinberg, 2021), auf der laufenden Überarbeitung der Energiestrategie des Bundes sowie auf frühere Arbeiten, welche TEP Energy im Auftrag des Kantons BL durchführte.¹

¹ Erreichung der Ziele des kantonalen Energiegesetzes Basel-Landschaft - eine Abschätzung der Massnahmenwirkung mit dem Gebäudeparkmodell Baselland, TEP Energy i.A. Kanton BL, Januar 2016

1.2 Zielsetzung

Bezugnehmend auf die oben dargestellte Ausgangslage verfolgt das Projekt die Zielsetzung, die im Pflichtenheft des Kantons BL vom 11. März 2020 gestellten Fragestellungen zu beantworten und die erwarteten Ergebnisse zu liefern. Konkret werden folgende Zielsetzungen verfolgt:

- Beurteilung der in der kantonalen Energiestatistik zur Anwendung kommenden Grundlagen in Bezug auf die Verwendbarkeit für die Berichterstattung gem. §2, Art. 4 des EnG BL.
- Entwicklung einer Methodik zur Herleitung und Aktualisierung des Indikators «nicht-erneuerbarer Heizwärmebedarf» nach § 2 Abs. 4 EnG BL unter Einbezug der Ergebnisse aus Punkt 1 und mit dem Ziel, dass die Methodik in der Folge durch das Statistische Amt ohne weitere Unterstützung alle zwei Jahre angewandt werden kann.

- Überprüfen, ob und in welchem Ausmass aufgrund des aktuellen Stands von Energiebedarf und CO₂-Emissionen sowie aufgrund der absehbaren Entwicklungen und wachsenden Anforderungen seitens der Politik auf Bundes- und Kantonsebene (hängige Vorstösse)² die Definition von zusätzliche energie- und klimapolitische Indikatoren zu empfehlen ist.
- Erarbeiten von Grundlagen für die kantonale Energieplanung. Damit soll der Kanton bei der Beurteilung unterstützt werden, ob bestehende Massnahmen anzupassen sind, ob Massnahmen in neuen Bereichen zu ergreifen sind, wie die Wirkung solcher Anpassungen überprüft werden könnte (Monitoring mittels Indikatoren) und was die potenzielle Wirkung sein könnte.

Im hier vorliegenden Grundlagenbericht werden die Ergebnisse und deren Herleitung inkl. Methodik, Datengrundlagen, wichtigste Annahmen nachvollziehbar dargestellt. Die Projektergebnisse sollen Eingang in den Statusbericht Energie nach § 3 Abs. 1 EnG BL finden, der Ende 2021 erstmals an den Landrat überwiesen wird.

² Zielsetzung Netto o des Bundesrates vom Herbst 2019, laufende Überarbeitung CO₂-Gesetz, laufende Überarbeitung Energiestrategie des Bundes, Statusbericht Klima i.A. Kanton BL



2 Vorgehen

Um die oben aufgeführten Zielsetzungen zu erreichen, wird das Vorgehen konkret in folgende Arbeitspakete strukturiert, auf welche nachfolgend näher eingegangen wird.

- Belastbarkeit der spezifischen Heizwärmeverbräuche
- Entwicklung einer Methodik für die Berechnung des durchschnittlichen spezifischen Heizwärmebedarfs der bestehenden Bauten nach § 2 Abs. 4 im Kanton BL und Empfehlungen hinsichtlich der Berechnung CO₂-Emissionen der Gebäude

2.1 Belastbarkeit der spezifischen Heizwärmeverbräuche

In einem ersten Schritt wird die Methodik zur Berechnung der sog. Heizkoeffizienten für die drei Gebäudetypen (EFH, MFH und Mischnutzungen) aus genereller Sicht analysiert. Dies erfolgt aufgrund eines Bewertungsrasters, der die Beantwortung von u.a. folgenden Fragen zum Ziel hat:

- Welche methodischen Ansätze, wie z.B. statistische oder ingenieurwissenschaftliche, kommen zur Anwendung und wie werden sie kombiniert?
- Welche Datengrundlagen werden verwendet und welche Unsicherheiten bestehen bei den einzelnen Datenquellen?
- Können bei der Verknüpfung mehrerer Datengrundlagen oder aufgrund der verwendeten Ansätze Verzerrungen entstehen (z.B.

durch Differenzbildung oder durch das Treffen von punktuellen Annahmen) und wie bedeutend könnten diese Effekte sein?

In einem zweiten Schritt werden die beiden entscheidenden Einflussfaktoren, auf den spezifischen Heizwärmebedarf die Bezugsflächen und der Nutzenergiebedarf, gezielt untersucht:

- **Flächenspezifisch:** Analyse der bei der Erstellung der Energiestatistik verwendeten Bezugsflächen. Analysiert werden insbesondere die Differenzen zwischen der EBF, die auf dem Nachweis energetische Massnahmen (NEM) sowie auf Gebäudeenergieausweisen der Kantone (GEAK) basieren, und den Flächen, wie sie sich aus dem in der Energiestatistik bisher angewendeten Verfahren ergeben. Dazu werden die Daten von den rund 1000 Gebäuden mit NEM verwendet und mit den Flächen aus dem bisherigen Verfahren verglichen. Zu berücksichtigen sind hierbei Unterschiede
 - aufgrund der Gebäudeform (z.B. L-förmige Gebäude oder Terrassensiedlungen)
 - aufgrund der verschiedenen Flächendefinitionen (Wohnfläche, EBF, BGF).
- **Energetisch:** Analyse der für die Umrechnung von Endenergie (Verbräuche von Heizung und Warmwasser) zum Heizwärmebedarf auf Ebene Nutzenergie (ohne Warmwasser) und dafür verwendete Datengrundlagen (z.B. zum Anteil kombinierter vs. getrennter RW- und WW-Aufbereitung) und Annahmen (z.B. zu Wirkungsgraden der verschiedenen Heizungstypen und zum Anteil des Brauchwarmwassers), etc.

Bei dieser Analyse kommen sowohl statistische Verfahren zur Anwendung (z.B. robuste Regressionsansätze) als auch geometrische Analysen mit dem 3D-Modell von Swisstopo. Bei den statistischen Verfahren kommen je nach Gebäudetyp unterschiedliche erklärende Variablen zur Anwendung. Bei den reinen Wohngebäuden können dies Daten des GWR sein, z.B. Gebäude-

typ, Bauperiode, Wohnfläche, Anzahl Stockwerke, Anzahl Wohnungen und Personenbelegung gemäss Einwohnerkontrolle. Dazu kommen Auswertungen von Flächenberechnungen, die auf dem 3D-Modell von Swisstopo basieren. Dabei wird auf entsprechenden Berechnungen aufgebaut, die im Rahmen des Projekts «Energiekennzahlen und CO₂-Emissionen in den Kantonen» entwickelt wurden (Jakob et al., 2021).

Ziel ist die Erarbeitung von Grundlagen für ein Verfahren, welches bei Gebäuden, für welche keine NEM und keine GEAK vorliegen, zur Anwendung kommen könnte (siehe Kapitel 2.2). Dies betrifft noch fast alle Gebäude, da NEM und GEAK aktuell nur bei sehr wenigen Gebäuden vorliegen.

2.2 Entwicklung einer Methodik für Berichterstattung zu § 2 Abs. 4 EnG BL

Die zu entwickelnde Methodik baut auf den Ergebnissen und Erkenntnissen des AP 1 auf. Ziel ist,

- den Heizwärmebedarf (Ebene Nutzenergie) auf der Basis von Endenergieverbräuchen zu berechnen
- eine Bezugsgrösse zu definieren und zu berechnen, welche möglichst nahe bei der Energiebezugsfläche (EBF) gemäss einschlägigen Definitionen des SIA liegt.

Für die Entwicklung der Methodik wird Konzept ausgearbeitet, dies im Sinne einer detaillierten Empfehlung für das Vorgehen, den durchschnittlichen spezifischen Heizwärmebedarf der Gebäude zu berechnen.

Der Methodik liegen gebäudescharfe Daten zugrunde, die Ergebnisse sollen jedoch in statistisch anonymisierter und aggregierter Form vorliegen.

2.3 Erarbeiten von Grundlagen für die kantonale Energieplanung

Grundlagen für die Beurteilung von möglichen Massnahmen der kantonalen Energieplanung werden auf den Ist-Zustand des Gebäudeparks im Kanton BL sowie auf die potenzielle Wirkung von bestehenden und zusätzlichen Massnahmen gestützt. Sowohl die Analyse des Ist-Zustands als auch Grundlagen für die Wirkungsabschätzung werden mit dem georeferenzierten Gebäudeparkmodell und den Räumlichen Energieanalysen (REA) von TEP Energy erarbeitet.³

2.3.1 Aufsetzen und Eichen des Gebäudeparkmodells für den Ist-Zustand

Als Grundlage für die Abschätzung der Massnahmenwirkung wird in einem ersten Schritt der Ist-Zustand beschrieben und der Gebäudepark im Gebäudeparkmodell (GPM) abgebildet. Dabei werden insbesondere die bereits durchgeführten Erneuerungsarbeiten (Bereich Gebäudehülle), Effizienzmassnahmen (z.B. eBO) und Add-on-Massnahmen (z.B. bzgl. installierten Solaranlagen) mitberücksichtigt, um die Wirkung künftiger Massnahmen nicht zu überschätzen.

Das Vorgehen ist im Einzelnen wie folgt:

- Erhebung der Erneuerungsaktivitäten und des gebäudetechnischen Ausrüstungsgrads (insbesondere bei Nicht-Wohngebäuden bzgl. Lüftung und Klima) bei einer Stichprobe von Gebäudeeigentümern (rund 600 EFH, 600 MFH und 800 Nicht-Wohngebäude,

³ TEP Energy verfügt mit dem Gebäudeparkmodell (GPM) über ein Modell, mit welchem unterschiedlichste politische Massnahmen und Konzepte wie z.B. hinsichtlich ihrer vergangen und künftigen energetischen Wirkungen

quantifiziert werden können. Das GPM wurde bereits für die Schweiz, die Stadt Zürich, den Kanton BL, die Kantone adaptiert und im Rahmen mehrerer Studien eingesetzt.

siehe Kapitel 4.1.2). Die Umsetzung baut auf das Verfahren und den Online-Fragebogen des Projekts «Energiekennzahlen und CO₂-Emissionen in den Kantonen» auf.

- Aktualisierung eines Teils der Inputdaten des GPM für den Kanton BL, namentlich was die Ergebnisse des AP 1 betrifft (Bestimmung der EBF anhand vorliegender Flächendaten aus dem GWR und aus dem 3D-Modell).
- Berechnung der Heizwärmebedarfswerte (basierend auf SIA 380/1) und der Endenergieverbräuche pro Gebäude mit dem Gebäudeparkmodell basierend auf den erhobenen Daten zu den Erneuerungsaktivitäten und unter Berücksichtigung des sog. Energy performance gaps (EPG). Der EPG bezeichnet die Diskrepanz zwischen berechneten und gemessenen/erhobenen Verbräuchen. Letzterer wird mit den Verbrauchsdaten der Energiestatistik des Kantons BL validiert und falls erforderlich iterativ angepasst.
- Die dezentralen gebäudebezogenen Potenziale (unter Berücksichtigung von Grundstückabständen und Lärmschutz-Grenzwerten) werden identifiziert.
- Das Potenzial verschiedener ortsfester und standortgebundener erneuerbarer Energiequellen (z.B. Grundwasser) wird quantifiziert.
- Die potenziellen thermischen Verbunde werden mittels Clusteranalyse identifiziert.

Ergebnisse dieses Vorgehens sind eine Beschreibung des Ist-Zustands des Gebäudeparks im Kanton BL anhand

- von Auswertungen der erhobenen Erneuerungstätigkeit
- ein darauf geeichtes GPM (auch als Grundlage für den nächsten Arbeitsschritt)
- neu definierte und berechnete Energie- und Klimaindikatoren

.

2.3.2 Räumliche Energieanalyse

Im Hinblick auf die Wirkungsabschätzung ist es wichtig, die räumlichen Potenziale der erneuerbaren Energien und ihre Nutzungsmöglichkeiten und Einschränkungen zu kennen. Im Rahmen der räumlichen Energieanalyse (REA) werden basierend auf der Methodik aus der Wärmeinitiative Schweiz (WIS) (Jakob et al., 2020) für den Kanton Baselland folgende Schritte durchgeführt:



3

Berechnung des spezifischen Heizwärmebedarfs

Um die Belastbarkeit der bisherigen Berechnung des Heizwärmebedarfs zu beurteilen, sind deren Einflussfaktoren zu analysieren. Zu diesem Zweck wurden vom Kanton BL verschiedene Datenquellen zur Verfügung gestellt.

Als eine der Grundlagen könnte der Heizkoeffizienten (HK), definiert als Energieverbrauch pro Fläche und Jahr, dienen (das aktuelle Verfahren zur Abschätzung ist im methodischen Leitfaden der Energiestatistik des Kantons BL beschrieben (Statistisches Amt, 2017)). Daraus geht hervor, dass der HK hierbei die Rolle eines statistischen Schätzers spielt. Gemäss Kanton BL besteht hierbei nicht der Anspruch, dass es sich dabei um eine inhaltlich direkt interpretierbare Grösse zur Beurteilung des spezifischen Heizwärmebedarfs handelt.

Nachfolgend wird auf die hauptsächlichen Einflussfaktoren eingegangen, die für die Berechnung des nicht-erneuerbaren spezifischen Heizwärmebedarfs wesentlich sind:

- Flächenspezifische Einflussfaktoren (Kap. 3.1)
- Energetische Einflussfaktoren (Kap. 3.2)

Das Kap. 3 schliesst mit Empfehlungen zur Methodik für die Berechnung des spezifischen Heizwärmebedarfs (Kap. 3.3).

3.1 Flächenspezifische Einflussfaktoren

Eine wichtige Grösse zur Bestimmung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden stellt die Energiebezugsfläche (EBF) dar. Gemäss SIA 380 stellt

die EBF die Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen dar, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Konditionieren notwendig ist.

Gemäss dem konzeptionellen und methodischen Leitfaden zur Energiestatistik der beiden Basel (Statistisches Amt, 2017) wird die EBF in der Regel mit der Bruttogeschossfläche (BGF) gleichgesetzt resp. der Summe der BGF, falls mehrere Gebäude an einer Anlage angeschlossen sind. Die BGF wiederum wird im Verfahren der Energiestatistik angenähert, indem sie als Multiplikation aus Grundfläche und Anzahl Stockwerken berechnet wird. Bei besonderen Gebäudegeometrien (z.B. Bauernhäuser oder Terrassenhäuser) erfolgt die Berechnung der BGF und damit der EBF basierend auf der Wohnungsfläche, die mit einem Faktor multipliziert wird (Statistisches Amt, 2017).

Für einen Teil der Gebäude liegen zudem EBF-Daten aus dem Nachweis energietechnischer Massnahmen (NEM) vor. Da die NEM-Daten insbesondere neuere Gebäude betreffen, wurden zusätzlich Daten aus dem Gebäudeenergieausweis der Kantone (GEAK) für die Analyse berücksichtigt. Der GEAK wird von zertifizierten Energieexperten ausgestellt. Energieausweise liegen bislang vorwiegend für Wohngebäude vor, entsprechend bezieht sich die Analyse der GEAK auch hauptsächlich auf Wohngebäude.

Anhand dieser Datenquellen sowie weiteren Daten aus dem GWR, welche mit ersteren auf Gebäudeebene verknüpft werden, wird anhand von statistischen Verfahren überprüft, inwiefern sich die BGF der kantonalen Energiestatistik von den Werten aus den NEM unterscheiden und inwiefern die EBF durch alternative Verfahren besser angenähert werden kann. Damit könnte der HK der Energiestatistik einer direkt interpretierbaren EKZ angenähert werden. Zu betonen ist, dass dies für die Erstellung der Energiestatistik nicht erforderlich ist, sondern lediglich Quervergleiche mit anderen Datenquellen und Auswertungen, beispielsweise anderer Kantone, erleichtert.

3.1.1 NEM und GEAK-Daten

Die Verteilung der NEM- und GEAK-Daten pro Bauperiode ist in Abbildung 1 dargestellt. Die NEM-Daten betreffen fast ausschliesslich Gebäude mit Baujahr ab 2001. Die GEAK-Daten aus dem Kanton BL ergänzen die Stichprobe grossmehrheitlich mit Gebäuden mit Baujahr bis 2000.

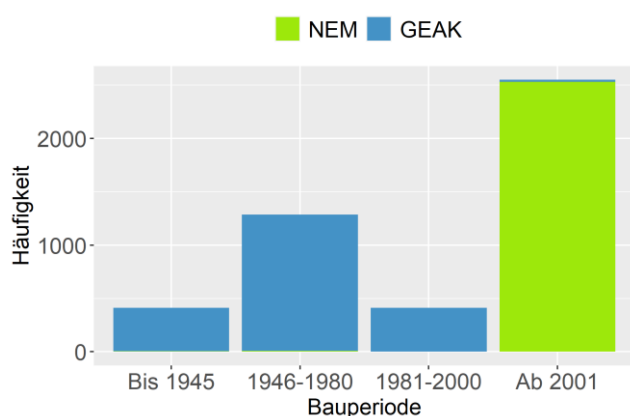


Abbildung 1: Bauperiodenverteilung der Daten aus NEM und GEAK.

Quelle: TEP Energy

In Abbildung 2 sind die EBF-Daten aus den Energienachweisen gegen die BGF-Daten aufgetragen. Die Datenpunkte folgen nur bedingt der roten Linie, welche eine theoretische 1:1 Relation von EBF und BGF darstellt.

Die Darstellung zeigt auf, dass sich durch Gleichsetzen der beiden Grössen, zu hohe EBF-Werte ergeben. Dies ist für das Erstellen der Energiestatik grundsätzlich unproblematisch. Für die Berechnung des spezifischen Heizwärmebedarfs sollte die EBF jedoch möglichst gut angenähert werden. Entsprechend soll im Folgenden überprüft werden, wie die EBF besser angenähert werden kann.

⁴ Ein High Leverage Effekt bezeichnet Situationen, bei denen eine kleine Änderung einer Variablen zu grossen Ausschlägen im Resultat führen.

⁵ Basis der Berechnung bildet die Gebäudehülle aus dem Datensatz swissBUILDINGS3D 2.0 der Swisstopo. Pro Stockwerk wurde ein Schnitt durch

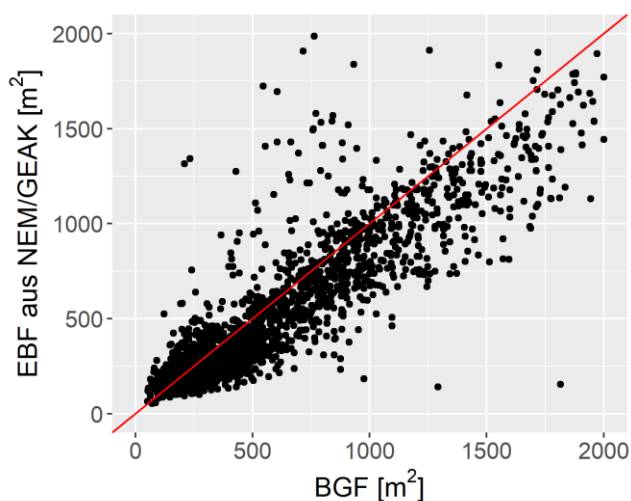


Abbildung 2: EBF aus NEM/GEAK als Funktion der BGF. Die rote Linie zeigt eine hypothetische 1:1 Relation.

Quelle: TEP Energy

3.1.2 Regressionsanalyse

Anhand von verschiedenen Regressionsanalysen wird nachfolgend untersucht, welche weiteren Variablen nebst der BGF eine genauere Abschätzung der EBF erlauben, wie z.B. Gebäudeklasse oder Bauperiode. Dafür werden multiple Regressionsansätze verwendet. Aufgrund der heterogenen Datensituation und um High Leverage Effekte⁴ zu vermeiden, werden für die Regressionsanalyse nur Daten mit einer EBF < 2000 m² berücksichtigt.

Abbildung 3 zeigt die Verteilung der EBF-Daten aus drei verschiedenen Datenquellen:

- EBF-Daten aus dem Energienachweis-Vollzug (NEM) und der GEAK-Datenbank
- «EBF»-Daten aus dem 3D-Modell abgeleitet⁵
- BGF-Daten aus der Energiestatistik BL

Die meisten Gebäude weisen eine EBF < 500 m² auf, und die Verteilung scheint bei den Daten

die Gebäudehülle genommen, um die BGF unter Berücksichtigung der Gebäudeform zu berechnen. Die EBF schliesslich ergibt sich durch einen multiplikativen Faktor aus der so berechneten BGF, siehe Jakob et al. 2021 für weitere Details.

aus dem 3D-Modell und insbesondere bei den Daten aus der Energiestatistik breiter zu sein als bei den NEM- und GEAK-Daten.

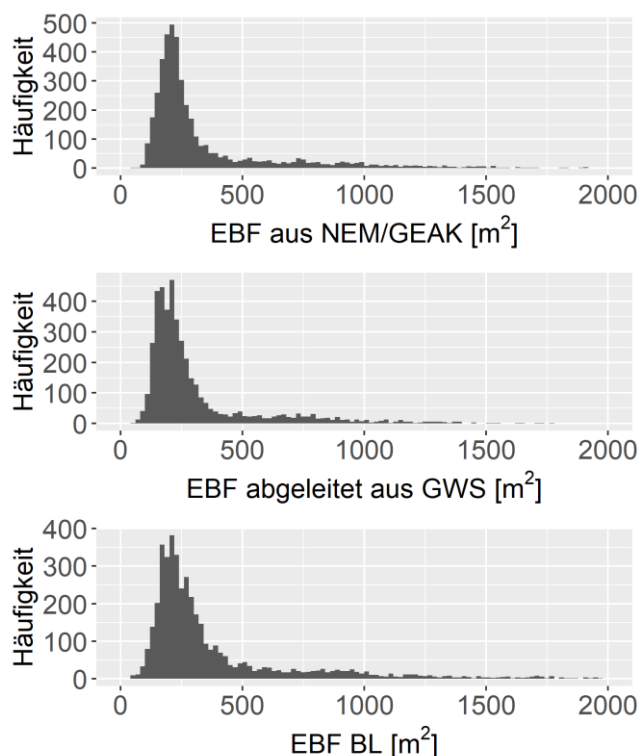


Abbildung 3: Histogramme der EBF aus den drei verschiedenen Datenquellen: 1. NEM/GEAK, 2. 3D-Modell, 3. EBF aus ES.

Quelle: TEP Energy

Als vermutete Faktoren, die einen Einfluss auf die EBF haben und damit mutmasslich geeignet sind, diese mit einem statistischen Modell zu schätzen, stehen folgende Variablen im Vordergrund:

- BGF: Bruttogeschossfläche
- GKLAS: Gebäudeklasse gemäss GWR (weil zu vermuten ist, dass sich der Anteil der nicht-beheizten Flächen zwischen EFH, MFH und weiteren Gebäudeklassen unterscheidet).
- GBAUP: Bauperiode gemäss GWR (weil zu vermuten ist, dass sich die Art und Weise der Gebäudeerschliessung und die Anteile der unbeheizten Flächen über die Zeit geändert haben).
- Gebäudeform, ausgedrückt als Gebäudehüllzahl, angenähert als Verhältnis der Aussenfläche A' zur BGF' , wobei bei Grössen mit dem 3D-Modell von Swisstopo berechnet werden (um aufzuzeigen, wie relevant Gebäudeformen sind, die vom einfachen BGF -Modell Grundfläche \cdot Anzahl Stockwerke abweichen).

Um den Effekt verschiedener Einflussfaktoren auf die EBF zu untersuchen und die Wirkung auf die Modellqualität aufzuzeigen, werden verschiedene Modellspezifikationen getestet (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Modellspezifikationen für die Regressionsmodelle zur Schätzung der EBF (log: natürlicher Logarithmus).

Modell Modellgleichung

i. $EBF = \beta_0 + \beta_1 \cdot BGF$

ii. $\log(EBF) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(BGF)$

iii. $\log(EBF) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(BGF) + \beta_2 \cdot GKLAS + \beta_3 \cdot GBAUP + \beta_4 \cdot GBAUP:GKLAS$

iv. $\log(EBF) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(BGF) + \beta_2 \cdot GKLAS + \beta_3 \cdot GBAUP + \beta_4 \cdot GBAUP:GKLAS + A'/BGF'$

Quelle: Auswertungen TEP Energy

Ein linearer Zusammenhang wie in Modell i. führt zu einer nicht konstanten Varianz der Störtherme (Heteroskedastizität), siehe Abbildung 27 im Anhang, weshalb dieser Ansatz verworfen wird.

Stattdessen wird auf einen log-log Ansatz (siehe Modellgleichung ii.) ausgewichen. Abbildung 4 zeigt die Residuen für die geschätzten EBF-Werte für das simple log-log-Modell. Die rote Linie stellt einen Streudiagrammglätter dar und zeigt, dass abgesehen von sehr kleinen und sehr grossen EBF, die Modellannahme eines konstanten Erwartungswertes der Residuen von 0 gegeben ist.

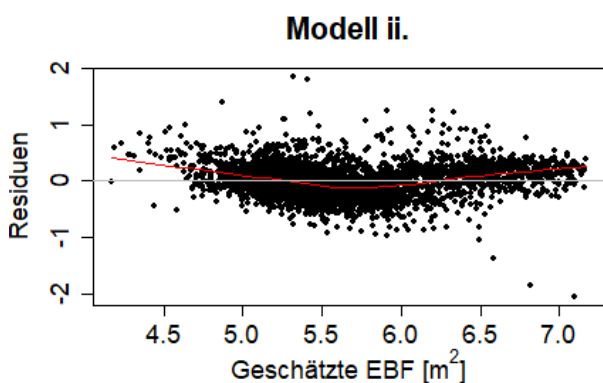


Abbildung 4: Residuengrafik für simples Modell mit log-log Ansatz und BGF als erklärende Variable (Modell ii).

Quelle: TEP Energy

Anhand weiterer Variablen aus dem GWR können multiple Regressionsmodelle getestet werden. Ein multiples Modell könnte beispielsweise Angaben zur Gebäudeklasse und zur Bauperiode enthalten, siehe Modell iii.

Die Variablen GKLAS und GBAUP stellen hier dummy-kodierte Variablen dar. Die geschätzten Koeffizienten $\beta_2 - \beta_4$ unterscheiden sich entsprechend je nach Gebäudeklasse und Bauperi-

ode des Gebäudes. Abbildung 5 zeigt die Residuengrafik für das multiple Modell iii. Hier sind die statistischen Modellannahmen gut erfüllt.

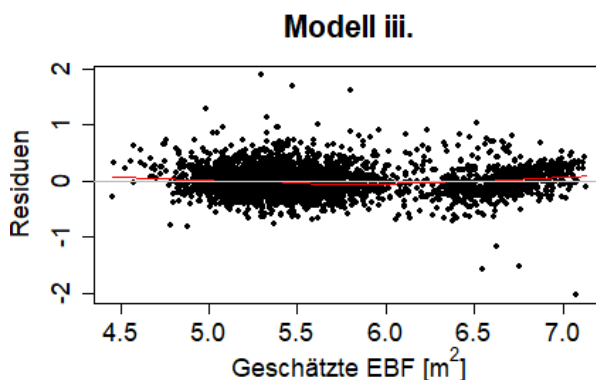


Abbildung 5: Residuengrafik für multiples Modell mit log-log Ansatz sowie BGF, Gebäudeklasse und Bauperiode als erklärende Variablen (Modell iii).

Quelle: TEP Energy

Als weitere Variable wird in der Modellspezifikation iv. die Gebäudehüllzahl in die Modellgleichung aufgenommen.

Die Gebäudehüllzahl entspricht dem Verhältnis der thermischen Gebäudehüllfläche A und der EBF. Das Verhältnis A_{th}/A_{EBF} , hier angenähert als A'/BGF' , d.h. als Verhältnis von Gebäudehüllfläche A' und BGF' (beide berechnet anhand des 3D-Modells), stellt somit eine wichtige geometrische Grösse dar, wodurch die Gebäudeform charakterisiert werden kann. Zusätzlich ergeben sich energetische Implikationen: für Gebäude mit geringerer Gebäudehüllzahl sinkt auch der Wärmebedarf.

Abbildung 6 illustrierte die Residuengrafik für Modell iv. Die Modellannahmen sind, wie bereits für Modell iii. gut erfüllt.

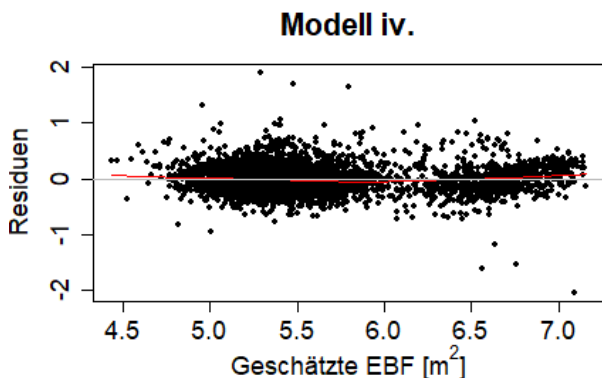


Abbildung 6: Residuengrafik für multiples Modell mit log-log Ansatz sowie BGF, Gebäudeklasse, Bauperiode und A/EBF als erklärenden Variablen (Modell iv).

Quelle: TEP Energy

Im Folgenden werden die Resultate aus der Regressionsanalyse für die Modelle ii. bis iv. aufgezeigt und erläutert.

Tabelle 2 zeigt den Modelloutput für Modell ii. Dabei sind in der ersten Spalte die einzelnen Variablen der Regressionsgleichung aufgeführt. Weiter sind pro Variable der geschätzte Koeffizient, der Standardfehler (S.E.) sowie der p-Wert abgebildet. Die Sterne geben die Signifikanz bzgl. der unterschiedlichen Signifikanzniveaus an. Die BGF ist hochsignifikant und der Koeffizient ist wie erwartet positiv. Bei einer Zunahme der BGF um 1% erhöht sich die EBF um ca. 0.82%. Das Bestimmtheitsmass (R^2) sowie das korrigierte Bestimmtheitsmass (Adj. R^2) weisen Werte von 0.78 auf und zeigen, dass ein Grossteil der Streuung in den Daten durch das Regressionsmodell erklärt werden kann. Der Standardfehler der Regression (RSE) als weiteres Mass für die Anpassungsgüte des Modells weist einen Wert von knapp 0.28 auf, d.h. die EBF aus den NEM-Daten weicht im Mittel ca. 0.28 Einheiten auf der log-Skala oder ca. 1.3 m^2 von der geschätzten EBF ab.

Tabelle 2: Geschätzte Koeffizienten (log: natürlicher Logarithmus), Standardfehler (S.E.), p-Werte sowie Gütemasse für Modell ii.

Variable	Koeff.	S.E.	p-Wert
Intercept	0.91	0.04	<2e-16***
log(BGF)	0.82	0.01	<2e-16***
RSE		R^2	Adj. R^2
		0.78	0.78

Sign. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabelle 3 zeigt den Modelloutput für Modell iii. Die BGF ist hochsignifikant und der Koeffizient ist wie erwartet positiv, jedoch kleiner wie im Modell ii. Die EFH bilden die Basiskategorie bei der Gebäudeklasse, wobei ersichtlich ist, dass bei den 2FH und MFH der Zusammenhang mit der BGF stärker ist. Hinsichtlich Bauperiode sind ab Baujahr 1981 leicht signifikant und ab Baujahr 2001 stark signifikant höhere Werte für die EBF beobachtbar. Der Interaktionsterm zeigt, dass die EBF insbesondere bei den MFH und den neueren Bauperioden höher ist als bei älteren MFH. Bei MFH mit Baujahr ab 2001 ist der Effekt leicht abgeschwächt. Das Bestimmtheitsmass (R^2) sowie das korrigierte Bestimmtheitsmass (Adj. R^2) weisen Werte von 0.84 auf, d.h. ein Grossteil der Streuung in den EBF-Daten kann durch die verwendeten unabhängigen Variablen erklärt werden. Der Standardfehler der Regression (RSE) weist einen Wert von knapp 0.24 auf, was auf eine leicht bessere Anpassungsgüte des Modells iii. im Vergleich zum Modell ii. schliessen lässt.

Tabelle 3: Geschätzte Koeffizienten (log: natürlicher Logarithmus), Standardfehler (S.E.), p-Werte sowie Gütemasse für Modell iii.

Variable	Koeff.	S.E.	p-Wert
Intercept	2.30	0.05	<2e-16***
log(BGF)	0.55	0.01	<2e-16***
zFH	0.20	0.03	1.5e-09***
MFH	0.31	0.04	2.9e-15***
BP_1946-1980	-0.01	0.02	0.393
BP_1981-2000	0.05	0.02	0.015*
BP_ab2001	0.14	0.02	<2e-16***
zFH:BP_1946-1980	-0.10	0.05	0.044*
MFH:BP_1946-1980	0.31	0.04	1.2e-12***
zFH:BP_1981-2000	0.00	0.07	0.968
MFH:BP_1981-2000	0.31	0.05	5.9e-09***
zFH:BP_ab2001	-0.07	0.04	0.091.
MFH:BP_ab2001	0.21	0.04	2.9e-07***

Basiskategorien: EFH, BP_bis1945

RSE	R ²	Adj. R ²
0.240	0.84	0.84

Sign. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabelle 4 zeigt den Modelloutput für Modell iv. Die Koeffizienten und p-Werte für die einzelnen Variablen bewegen sich in einem ähnlichen Rahmen wie für Modell iii. Die zusätzliche Variable „A'/EBF'“ ist signifikant von 0 verschieden und weist einen leicht positiven Koeffizienten auf. Das Bestimmtheitsmass (R²) sowie das korrigierte Bestimmtheitsmass (Adj. R²) weisen Werte von 0.84 auf, d.h. ein Grossteil der Streuung in den EBF-Daten kann durch die verwendeten unabhängigen Variablen erklärt werden (in etwa gleich gut wie beim Modell iii). Der Standardfehler der Regression (RSE) weist einen Wert von knapp 0.238 auf. Insgesamt ist der Modelloutput für Modell iii sehr ähnlich zum Modelloutput für Modell iv.

Tabelle 4: Geschätzte Koeffizienten (log: natürlicher Logarithmus), Standardfehler (S.E.), p-Werte sowie Modell für Modell iv.

Variable	Koeff.	S.E.	p-Wert
Intercept	2.01	0.07	<2e-16***
log(BGF)	0.58	0.01	<2e-16***
zFH	0.21	0.03	3.6e-11***
MFH	0.34	0.04	<2e-16***
BP_1946-1980	-0.01	0.02	0.587
BP_1981-2000	0.07	0.02	0.001***
BP_ab2001	0.17	0.02	<2e-16***
A'/EBF'	0.04	0.01	3.6e-12***
zFH:BP_1946-1980	-0.08	0.05	0.073.
MFH:BP_1946-1980	0.31	0.04	3.3e-13***
zFH:BP_1981-2000	-0.01	0.07	0.851
MFH:BP_1981-2000	0.30	0.05	1.7e-08***
zFH:BP_ab2001	-0.07	0.04	0.056.
MFH:BP_ab2001	0.19	0.04	2.8e-06***

Basiskategorien: EFH, BP_bis1945

RSE	R ²	Adj. R ²
0.238	0.84	0.84

Sign. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

3.1.3 Modellvergleich

Die Regressionsanalyse zeigen, dass ein starker Zusammenhang zwischen BGF und EBF besteht, und dieser am besten durch einen log-log-Ansatz spezifiziert wird. Die Erweiterung des simplen log-log-Modells mit einer erklärenden Variablen verringert den Standardfehler der Regression und erlaubt eine bessere inhaltliche Interpretation.

Inwiefern die zusätzlichen Variablen die Modelle verbessern kann anhand eines F-Tests eruiert werden. Der F-Test erlaubt es, die Modelle iii. und iv. direkt miteinander zu vergleichen, da sämtliche Variablen aus dem Modell iii. direkt im Modell iv. vorkommen. Tabelle 5 zeigt die Resultate des F-Tests. Nebst den Residuenquadratsummen für die beiden Modelle ist die Teststatistik abgebildet. Der stark signifikante p-

Wert deutet darauf hin, dass die Variable A'/EBF' zu einer signifikanten Verbesserung des Modells führt.

Tabelle 5: Resultate aus F-Test zum Vergleich der Modelle iii. und iv.

Model	Res.Df	RSS	F	Pr(>F)
iii.	4233.0	243.2		
iv.	4232.0	240.5	48.632	3.6E-12***

Sign. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Anhand der präsentierten Modellansätze kann die EBF im Sinne eines statistischen Erwartungswerts für die einzelnen Gebäude geschätzt werden. Abbildung 7 zeigt das Verhältnis der geschätzten EBF-Werte und den „wahren“ EBF-Werten aus den NEM- und GEAK-Daten pro Modellansatz ii. bis iv. und differenziert nach Gebäudeklasse. Zusätzlich ist dieselbe Statistik für die aktuellen EBF aus der Energiestatistik angegeben. Die gestrichelte Linie widerspiegelt den Quotienten 1, dort wo die geschätzten Daten mit den NEM bzw. GEAK Daten genau übereinstimmen. Es zeigt sich eine deutliche Überschätzung der EBF, wenn sie durch die angenäherten BGF (Daten aus der Energiestatistik) ersetzt wird. Insbesondere anhand der multiplen Modelle iii und iv lässt sich der Quotient 1 annähern und somit die Abweichung reduzieren. Bezüglich Gebäudeklasse zeigt sich, dass die anhand der Modelle geschätzten Werte für MFH weiter von den wahren Werten entfernt liegen. Das simple Modell unterschätzt die EBF für MFH deutlich, während für EFH und 2FH die geschätzten Werte bei allen Modellen relativ genau mit den NEM und GEAK-Daten aus übereinstimmen.

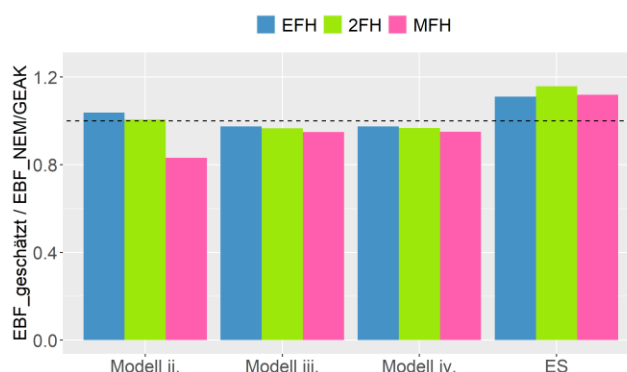


Abbildung 7: Verhältnis von geschätzter EBF zu den „wahren“ EBF aus den Energienachweisdaten (NEM) und der GEAK-Datenbank.

Quelle: TEP Energy

Die Analyse zeigt, dass mit einfachen Regressionsmodellen die EBF relativ gut abgeschätzt werden kann und somit genauere Resultate erzeugt werden können im Vergleich zum einfachen Ansatz, bei dem die EBF mit der angenäherten BGF gleichgesetzt wird. Insbesondere die multiplen Modelle mit Berücksichtigung der Strukturdaten zu Gebäudeklasse und Bauperiode lassen genauere Abschätzungen zu.

Die angenäherte Gebäudehüllzahl A'/EBF' verbessert das Regressionsmodell weiter, kann aber auch weggelassen werden, falls eine Erhebung bzw. Berechnung entsprechender Daten als zu aufwändig eingeschätzt wird. Je nach Datenlage könnten weitere erklärende Variablen in die Modelle einfließen, wobei die zunehmende Komplexität der Interpretation sowie die erhöhten Datenanforderungen sich als nachteilig erweisen können.

3.2 Energetische Einflussfaktoren auf den durchschnittlichen Heizwärmebedarf

Der durch den Kanton BL definierte Heizkoeffizient berücksichtigt definitionsgemäss nur die Nutzenergie der Heizung. Bei der empirischen Bestimmung des Heizkoeffizienten gemäss Methodik der Energiestatistik BL werden deshalb den gemessenen Verbräuchen der IWB die Anteile für das Brauchwarmwasser sowie Verluste der Wärmeerzeugungsanlage abgezogen. Zusätzlich wird durch Sonnenkollektoren erzeugte Wärme berücksichtigt. Damit werden Heizkoeffizienten für die Landgemeinden sowie die Stadt Basel differenziert nach 3 GWR-Gebäudekategorien und 6 Baujahrkategorie gebildet.

Bei Wohngebäuden mit nicht-leitungsgebundenen Energieträgern (Heizöl, Holz) und der Annahme, dass sich der spezifische Energieverbrauch zwischen Gebäuden mit Heizöl und Gas oder Holz als Energieträger, nicht systematisch unterscheidet, kann der Heizwärmebedarf anschliessend anhand der HK geschätzt werden.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass sich der Heizkoeffizient (HK) sowohl aus empirischen Daten als auch aus berechneten Daten errechnet. Damit werden statistische/empirische und ingenieurwissenschaftliche Verfahren Daten miteinander kombiniert. Dies kann insbesondere dann ein Risiko für eine Verstärkung von Unsicherheiten darstellen, wenn eine Differenz gebildet wird, wie es hier der Fall ist:

$$HK = (EKZ_{\text{tot, empirisch}} - Q_{\text{WW}}/NG_{\text{WW}}) * NG_{\text{H}}$$

wobei $EKZ_{\text{tot, empirisch}}$ die totale empirische Energiekennzahl, Q_{WW} die Nutzenergie Warmwasser und NG_{H} und NG_{WW} die Nutzungsgrade für Heizen und Warmwasser

Mittels vereinfachtem Ansatz können die Auswirkungen von Unsicherheiten bei den Eingangsgrössen auf die Zielgrösse HK abgeschätzt werden. Hierbei ist zwischen Unsicherheiten auf

Ebene einzelner Gebäude und Unsicherheit auf Ebene des Gebäudeparks zu unterscheiden.

Zunächst erfolgt die Betrachtung auf Ebene Einzelgebäude. Die getroffenen Annahmen zu den verschiedenen Unsicherheiten stützen sich auf Erfahrungswerte und Einschätzungen der Autoren.

- EKZ: +/-15% (Ableseperiode, Witterung)
- Q_{WW} : +/- 50% (u.a. wegen Belegung, die z.B. in einem EFH zwischen 2 und 6 variieren kann)
- NG_{WW} : +/- 20% (die Schätzungen reichen von 60% bis 90%)
- NG_{H} : +/-15%

Die Auswirkungen dieser Unsicherheiten werden an einem Beispiel mit einer (ungewichteten) EKZ von 120 kWh/m² abgeschätzt, wodurch sich aufgrund der übrigen Annahmen ein HK von 79 kWh/m² ergibt (siehe Tabelle 6). Kombinieren sich die Unsicherheiten jeweils im günstigen bzw. ungünstigen Fall, ergibt sich für den HK ein Bereich von mehr als +/-50%, obwohl die wichtigste Eingangsgrösse, die EKZ, nur einen (angenommenen) Unsicherheitsrange von +/-15% aufweist.

Tabelle 6: Auswirkungen von Unsicherheiten auf den HK, Ebene Einzelgebäude

		Erwartungswert	Relative Unsicherheit	Unsicherheitsrange	
				Unterer Wert	Oberer Wert
EKZ	kWh/m ²	120	15%	102	138
Q_{WW}	kWh/m ²	20	50%	30	10
NG_{WW}	-	0.75	20%	0.60	0.90
NG_{H}	-	0.85	15%	0.72	0.98
HK	kWh/m ²	79		38	124
				-53%	56%

Ein Unsicherheitsbereich beim HK von mehr als +/- 50% ist zwar nicht unrealistisch (u.a. wegen unbekanntem Anteil an durchgeführten Renovationen, Anteil teilweise beheizten Räume,

nicht genau bekannter Raumtemperatur etc.), aber im obigen Beispiel ist der Unsicherheitsrange auf andere Einflussfaktoren zurückzuführen (siehe Tabelle 6).

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Eingangsparameter zur Berechnung des HK auf Ebene des Gebäudeparks näher eingegrenzt werden können, namentlich was die EKZ betrifft. Auch wenn hierfür nur ein sehr enger Unsicherheitsrange von optimistischerweise +/-5% angenommen wird, resultiert beim HK immer noch ein Unsicherheitsrange von beinahe +/-25%, siehe Tabelle 7.

Tabelle 7: Auswirkungen von Unsicherheiten auf den HK, Ebene Gebäudepark

		Erwartungswert	Relative Unsicherheit	Unsicherheitsrange	
				Unterer Wert	Oberer Wert
EKZ	kWh/m ²	120	5%	114	126
Q _{ww}	kWh/m ²	20	20%	24	16
NG _{ww}	-	0.75	15%	0.64	0.86
NG _H	-	0.9	7%	0.84	0.96
HK	kWh/m ²	84		64	103
				-24%	23%

3.3 Empfehlungen zur Methodik für die Berechnung des spezifischen Heizwärmebedarfs

Zum Überprüfen von energie- und klimapolitischen Zielen, aber auch zum Erstellen von Energiestatistiken ist der spezifische Heizwärmebedarf eine wichtige Grösse. Gemäss § 2 Abs. 4 im Energiegesetz des Kantons BL soll der nicht-erneuerbare Heizwärmebedarf bei bestehenden Bauten bis 2050 auf 40 kWh pro Quadratmeter EBF gesenkt werden. Im Neubau soll der Heizwärmebedarf bis 2030 auf 20 kWh pro Quadratmeter EBF sinken. Nebst der Überprüfung von energiepolitischen Zielen können spezifische

Heizwärmebedarfswerte in Kombination mit der Energiebezugsfläche zur Abschätzung des Energieverbrauchs von Gebäuden mit bekanntem Energieträger genutzt werden. Dies z.B. als Vergleich oder Alternative zu Verbrauchsdaten.

Der spezifische Heizwärmebedarf hängt grundsätzlich von den zwei Einflussfaktoren Nutzwärme sowie Bezugsfläche ab. Zur Berechnung dieses Indikators werden die beiden Varianten A und B vorgeschlagen:

- Variante A: Anpassung der Methodik der Energiestatistik
- Variante B: Nachgelagerte Berechnung des spezif. Heizwärmebedarfs auf Basis der Daten der Energiestatistik

Ein sogenanntes Skript, in welchem die genaue Vorgehensweise für die beiden Varianten A und B beschrieben ist, dient als Beilage zu diesem Bericht.

Bei der Variante A werden die bisher in der Energiestatistik verwendeten EBF (im Regelfall die BGF) mit den geschätzten EBF_{neu} aus den statistischen Modellen ersetzt. Dies erlaubt eine neue Schätzung der Heizkoeffizienten etc. und bedingt einer Anpassung der Energiestatistik. Der Vorteil bei diesem Ansatz besteht darin, dass der «Schätzer» der Energiestatistik und der Nenner des spez. Heizwärmebedarfs dieselbe Grösse darstellen, was grundsätzlich die Konsistenz erhöht.

Bei der Variante B werden keine Änderungen am aktuellen Verfahren aus der Energiestatistik vorgenommen, sondern die neu geschätzten EBF_{neu} aus den statistischen Modellen lediglich für die nachgelagerte Berechnung des Indikators verwendet.

Für die 2021 fällige Berichterstattung zuhanden des Landrats wird empfohlen, die aktuelle Methodik zur Berechnung der absoluten Nutzenergie beizubehalten, jedoch Änderungen bei der Schätzung der EBF vorzunehmen (Details siehe beiliegendes Skript). Mittelfristig ist zu prüfen,

ob die so berechnete EBF nicht auch als «Schätzer» bei der Erstellung der Energiestatistik bei der Basel zur Anwendung kommen soll.

Im Folgenden wird kurz auf die Verwendung und Vorteile der geschätzten EBF auf den statistischen Modellen eingegangen.

Die auf den NEM- und GEAK-Daten basierenden Resultate haben gezeigt, dass die Bruttogeschossfläche einen signifikanten Einfluss auf die Grösse der EBF hat. Weiter sind aber auch Gebäudeklasse und Bauperiode wichtige erklärende Variablen in den statistischen Modellen. So hat sich gezeigt, dass die mit dem aktuellen Verfahren verwendete Grösse (angenäherte BFF) die EBF überschätzt und dass damit der Heizkoeffizient HK der Energiestatistik des Kantons BL nicht direkt als Indikator II oder III verwendet werden sollte.

Entsprechend wird empfohlen, die EBF für Wohngebäude anhand einfacher Regressionsmodelle zu schätzen. Konkret wird ein Ansatz wie im Modell iii. empfohlen, dies aus zwei Gründen:

1. Das Modell iii schätzt die EBF deutlich genauer als der bisherige Ansatz.
2. Daten zu BGF, Bauperiode und Gebäudeklasse sind fast flächendeckend im GWR abgebildet.

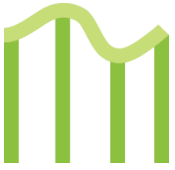
Aus praktischen Gründen der Datenverfügbarkeit soll die Gebäudehüllenzahl zunächst nicht berücksichtigt werden. Sobald das 3D-Modell flächendeckend für den Kanton BL vorliegt, könnte auch die Gebäudehüllenzahl (Formfaktor) als weitere erklärende Variable berücksichtigt werden.

Bei Gebäuden, bei denen die Gebäudeklasse und / oder die Bauperiode nicht bekannt ist, wird empfohlen auf das einfachere Modell ii. auszuweichen. Insbesondere für EFH und 2FH kann auch damit eine relativ genaue Schätzung vollzogen werden (vgl. Abbildung 7).

Eine weitere Möglichkeit wäre es, anhand der Gasverbrauchsdaten der IWB sowie den wahren Energiebezugsflächen die spezifischen Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser direkt über Regressionsmodelle zu schätzen. Damit könnte der Anteil für den Warmwasserverbrauch empirisch geschätzt werden, statt ihn mit einem theoretischen Ansatz zu berechnen. Auf diese Weise werden die beiden Teile, Raumwärme und Warmwasser, konsistent anhand der empirischen Daten bestimmt. In der Regel ist ein in sich konsistentes methodisches Vorgehen einem hybriden Vorgehen wie es aktuell angewendet wird, vorzuziehen. Wir empfehlen, diesen Ansatz mittelfristig zu prüfen.

Bei der aktuellen Datenlage empfehlen die Autoren, im Bereich der Nichtwohngebäude die Methodik aus dem Projekt „Weiterentwicklung des CO₂-Reportings der Kantone im Gebäudereich ab 2020“ (Jakob et al., 2021) zu übernehmen. Dabei wird die EBF pro Bauperiode und Gebäudeklasse anhand der Flächendaten aus GWR, 3D-Modell von Swisstopo und STATENT ausgewiesen.

Zukünftig sollen einerseits durch die Zunahme an NEM-Daten die bestehenden Modelle verbessert, andererseits durch Erschliessen weiterer Datenquellen neue Modelle für den Nichtwohngebäudebereich eruiert werden.



4

Analyse des Ist-Zustands des Gebäudeparks des Kantons BL

Als Grundlage zur Schätzung der bisherigen Massnahmenwirkung und um die Wirkung weiterer Massnahmen realistisch abschätzen zu können, wird zunächst eine fundierte Analyse des Ist-Zustandes und der Wirkung der bisherigen Massnahmen durchgeführt. Zu diesem Zweck wird die vergangene Erneuerungstätigkeit analysiert (Kap. 4.1) und es wird die Entwicklung verschiedener Indikatoren aufgezeigt (Kap. 4.2), wobei für deren Berechnung das Gebäudeparkmodell (GPM) eingesetzt wird.

4.1 Vergangene Erneuerungstätigkeit

4.1.1 Einführung und Vorgehen

Um den Ist-Zustand des Gebäudeparks im GPM abzubilden, ist eine Kenntnis über die Erneuerungsaktivitäten sowie den gebäudetechnischen Ausrüstungsgrad essenziell. Im Rahmen des Projektes „Weitentwicklung des CO₂-Reportings der Kantone im Gebäudebereich ab 2020“ (Jakob et al., 2021) wurde eine online-Umfrage in 18 Kantonen durchgeführt, um den gebäudetechnischen Ist-Zustand sowie getätigte Erneuerungsarbeiten abzufragen.

Die Erhebung der Erneuerungsaktivität basiert auf einem bewährten Fragebogen, der seit 2001/2002 und 2009/2010 bereits in mehreren früheren Projekten in ähnlicher Form zur An-

wendung kam, u.a. auch im Kanton BL. Der Ansatz besteht darin, eine Stichprobe von Gebäudeeigentümern zu ihren durchgeführten Instandsetzung- und energetischen Erneuerungsarbeiten zu befragen. Dies erfolgt für die wichtigsten Elemente der Gebäudehülle (Fenster, Wand, Dach, Kellerdecke) sowie für den Bereich Heizanlagen. Den Befragten werden pro Element einige wenige Arten von Arbeiten zur Auswahl gegeben (z.B. Fassadenanstrich, Fassadenwärmedämmung). Für die durchgeführten Arbeiten geben sie zudem an, wann die Arbeiten durchgeführt wurden, u.a. in Bezug auf vorgegebene Renovationsperioden (1991-1995, 1996-2000, 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015, 2016-2019). Die Erhebung wird mittels Online-Fragebogen durchgeführt.

Nach einem ausführlichen Pretest im Herbst 2019 wurde die Erhebung je nach Kanton zwischen Dez. 2019 und Ende 2020 durchgeführt, im Kanton BL zwischen Mitte August und Mitte September 2020. Die Adressdaten wurden durch die Gebäudeversicherung des Kantons Baselland bereitgestellt und der Versand erfolgte durch TEP Energy. Im Folgenden werden die wichtigsten deskriptiven Auswertungen für den Kanton BL dargestellt. Für weitere Ergebnisse sowie Vergleiche zu anderen Kantonen wird auf das Projekt zu den kantonalen Energiekennzahlen und den CO₂-Emissionen des Gebäudebereichs verwiesen (Jakob et al., 2021).

4.1.2 Stichprobe und Grundgesamtheit

Insgesamt wurden im Kanton BL Gebäudeeigentümer:innen resp. Verwaltungen von 2776 Gebäuden angeschrieben, wovon 16 nicht zugestellt werden konnten. Zusätzlich sind 37 Abmeldungen eingegangen. Die totale Antwortstichprobe beträgt n = 997. Daraus ergibt sich eine vergleichsweise hohe Rücklaufquote von über 36% über alle Gebäudetypen (Abbildung 8).

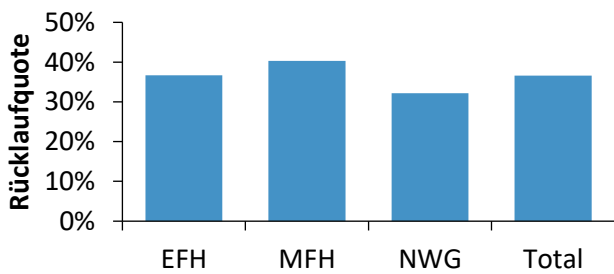


Abbildung 8: Rücklaufquote pro Gebäudetyp.

Quelle: TEP Energy

4.1.3 Heizenergieträger

Abbildung 9 illustriert die Heizenergieträgeranteile für EFH und MFH gemäss GWR des Kantons BL (siehe (Statistisches Amt des Kantons Basel-Landschaft, 2020) für eine Beschreibung der Struktur und der Attribute). Die Verteilungen der beiden Gebäudetypen sind in Bezug auf die meisten Energieträger sehr ähnlich. Ausnahme: bei den MFH deutlich mehr Fernwärme, dafür weniger Wärmepumpen.

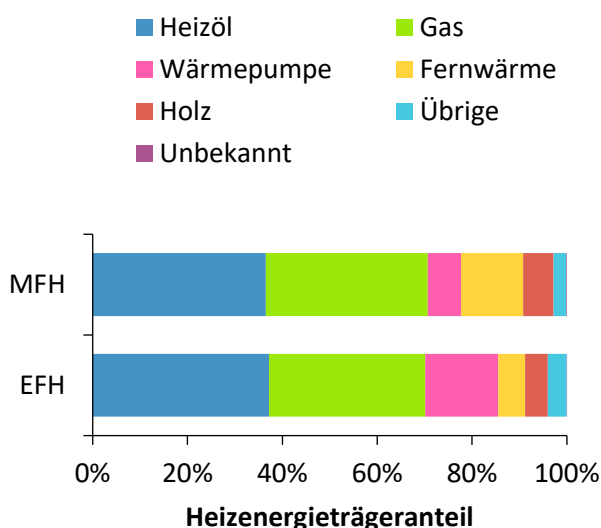


Abbildung 9: Heizenergieträgeranteile für EFH, MFH und NWG.

Quelle: (Statistisches Amt des Kantons Basel-Landschaft, 2020), Auswertung TEP Energy

Die Heizenergieträgeranteile für Wohngebäude, gemäss GWR (Statistisches Amt des Kantons Basel-Landschaft, 2020) sind differenziert nach Bauperiode in Abbildung 10 dargestellt. Gebäude mit Baujahr zwischen 1946 und 1980 weisen den höchsten Anteil an Ölheizungen auf. In den Jahren 1981-2000 nahm der Gasanteil zu, während bei den neueren Gebäuden (Baujahr > 2001) Wärmepumpen überwiegen. Es ist davon auszugehen, dass bei dieser neusten Bauperiode noch der Originalenergieträger zum Zeitpunkt des Neubaus in Betrieb ist. Bei den älteren Gebäuden (erbaut vor 1980) fand jedoch ein nachträglicher Shift von Öl zu Gas statt, dessen Verbreitung erst in den 1980er-Jahren substantiell Fahrt aufnahm.

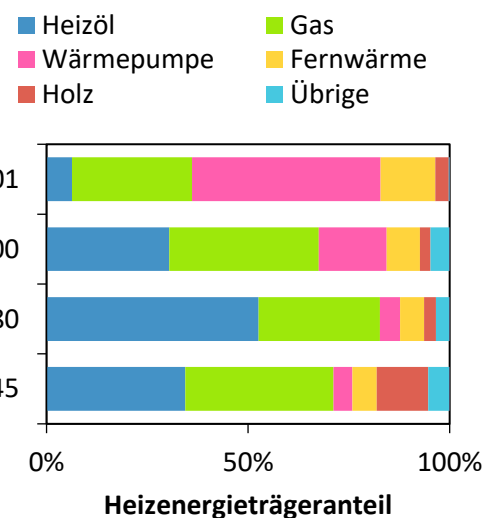


Abbildung 10: Heizenergieträgeranteile pro Bauperiode für Wohngebäude.

Quelle: (Statistisches Amt des Kantons Basel-Landschaft, 2020), Auswertung TEP Energy

Bei den NWG erlaubt die Datenlage im GWR keine Auswertung zu den Energieträgeranteilen (zu geringe Abdeckung). Um trotzdem einen Vergleich mit den Wohngebäuden zu ermöglichen, wird auf die Heizenergieträgeranteile aus der Erhebung (für EFH, MFH und NWG) verwiesen, die im Anhang dieses Berichtes illustriert sind.

4.1.4 Erneuerungsraten Gebäudehülle

Durchgeführte Instandsetzungs- und Erneuerungsraten stellen eine wichtige Information zur energetischen Beschreibung des Gebäudeparks dar. Die erhobenen Zahlen für den Kanton Baselland werden hier mit dem Kanton Aargau verglichen. Der Kanton AG hat sich als sehr durchschnittlicher Kanton gezeigt, siehe (Jakob et al., 2021). Vergleiche zu anderen Kantonen sind im Schlussbericht zur CO₂-Berichterstattung zu finden (Jakob et al., 2021).

Abbildung 11 zeigt die Renovationsraten von Fenstern als Mittel über 10 Jahre bei Wohngebäuden in den Kantonen AG und BL. Die Raten sind differenziert nach drei Renovationsperioden (1991-2000, 2001-2010 und 2010-2019). Die aus energetischer Sicht relevante Renovationsrate (Fensterersatz in grün) konnte in den letzten 30 Jahren auf relativ stabilem Niveau von 2% leicht gesteigert werden (siehe Abbildung 11).

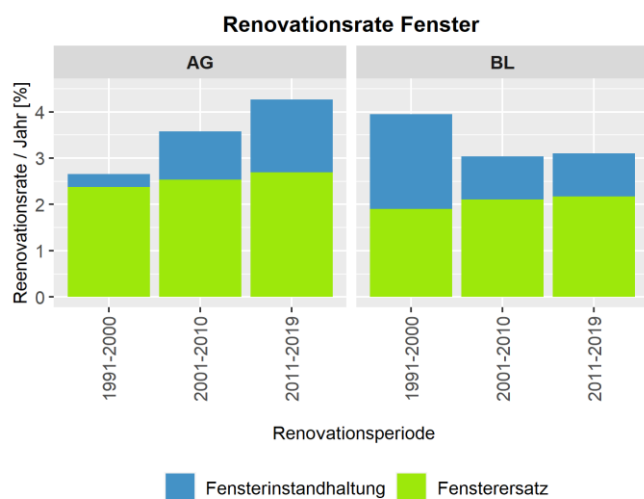


Abbildung 11: Jährliche Renovationsraten (Mittel über 10 Jahre) bei den Fenstern für drei verschiedene Renovationsperioden und zwei Kantone (Aargau und Baselland).

Quelle: TEP Energy

Die Renovationsraten bei der Fassade bewegen sich insgesamt in einer ähnlichen Grösse wie bei den Fenstern (Abbildung 12). Als energetisch relevante Massnahme fällt die Wärmedämmung

mit teilweise weniger als 1% pro Jahr aber tiefer aus als der Fensterersatz. Im Kanton BL haben die Raten für Wärmedämmungen in den letzten 10 Jahren leicht abgenommen, während Neuanstriche vermehrt durchgeführt wurden.

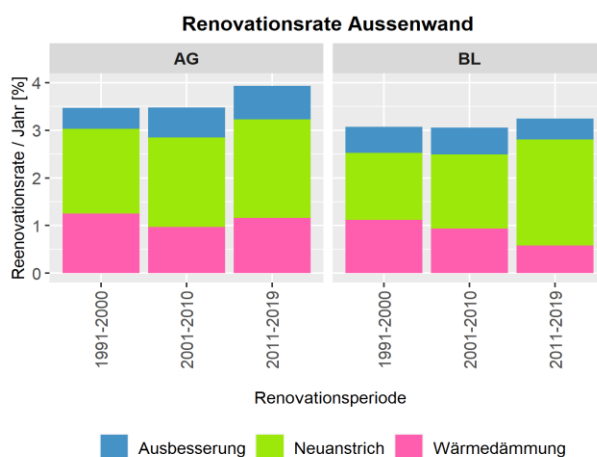


Abbildung 12: Jährliche Renovationsraten (Mittel über 10 Jahre) bei der Fassade für drei verschiedene Renovationsperioden und zwei Kantone (Aargau und Baselland).

Quelle: TEP Energy

Abbildung 13 zeigt die jährlichen Renovationsraten bei den Steildächern. Im Vergleich zu den Fenstern und der Fassade ist hier bei keinem der Kantone ein Anstieg bei den Renovationsraten beobachtbar. Die Raten für eine Steildachwärmedämmung bewegen sich zwischen ca. 0.8% und 1.8%.

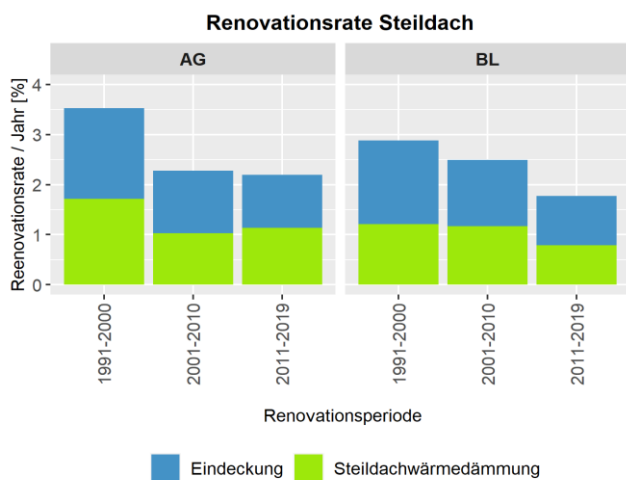


Abbildung 13: Jährliche Renovationsraten (Mittel über 10 Jahre) beim Steildach für drei verschiedene Renovationsperioden und zwei Kantone (Aargau und Baselland).

Quelle: TEP Energy

Die Renovationsraten für Wärmedämmungen bei der Kellerdecke (siehe Abbildung 14) befinden sich mit 0.5%-0.8% in der gleichen Grössenordnung wie für die Fassade. Im Vergleich zum Kanton AG wurden bereits in den 90er Jahren vermehrt die Kellerdecken isoliert, während die Erneuerungsraten im Kanton AG demgegenüber nach dem Jahr 2000 leicht zunehmen.

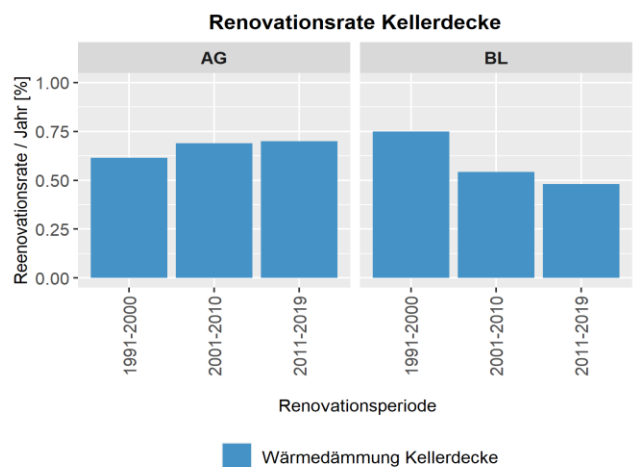


Abbildung 14: Jährliche Renovationsraten (Mittel über 10 Jahre) bei Kellerdecken für drei verschiedene Renovationsperioden und zwei Kantone (Aargau und Baselland).

Quelle: TEP Energy

4.1.5 Fazit zum bau- und energietechnischen Zustand des Gebäudeparks des Kantons BL

Der bau- und energietechnische Zustand des Gebäudeparks des Kantons BL ist demjenigen der übrigen untersuchten 18 Kantone im grossen Ganzen recht ähnlich (wenn man die relativ groben Perioden von zehn Jahren betrachtet). Die durchschnittlichen energetischen Erneuerungsraten pro Jahr unterscheiden sich stark nach Bauteil (2-3% für Fenster, 0.5-1.5% bei Fassaden und Dächern, 0.5 -1% für die Kellerdecke). Weiter haben interne Auswertungen gezeigt, dass eine Unterscheidung der Renovationsperioden in 5-Jahresperioden weitere Unterschiede aufzeigt. Die Resultate der gesamtschweizerischen Analyse zeigen auch die deutlich höheren Erneuerungsraten bei Wohngebäuden verglichen zu den Nichtwohngebäuden auf. Weitere Erkenntnisse sind im Projektbericht zu den kantonalen Energiekennzahlen beschrieben (Jakob et al., 2021).

4.2 Energie- und Klimaindikatoren

Die Entwicklung der Indikatoren seit der Totalrevision des Energiegesetzes im Jahr 2016 wird im Folgenden anhand der Ergebnisse der Berechnungen mit dem GPM aufgezeigt. Weil die Indikatoren des EnG des Kantons BL auf empirischen Werten beruhen und keine Witterungskorrektur vorgenommen wird, werden die Witterungseffekte mit dem GPM modelliert, um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

Nebst den Indikatoren des EnG des Kantons BL (siehe Definitionen in Kap. 1.1) werden weitere Kenngrössen berechnet und dargestellt. Diese könnten dem Kanton BL als zusätzliche oder alternative Indikatoren für die Beurteilung des Erfolgs seiner energie- und klimapolitischen Massnahmen dienen. Es handelt sich um folgende Indikatoren:

- Indikator Va: Durchschnittlicher Heizwärmebedarf pro m² EBF und Jahr für sämtliche Bauten. Motivation: Indikator dient der Beurteilung der mittleren Energieeffizienz des Gebäudeparks (in Bezug auf Raumwärme). Alternativ könnte der Indikator auf die vor 2000 oder vor 1990 erstellten Bauten fokussieren.
- Indikator Vb: Endenergie Energiekennzahl Raumwärme und Warmwasser. Motivation: Näher an originären Daten und Berechnungen der Energiestatistik des Kantons BL, vermeidet Mischung von ingenieurwissenschaftlichen und statistischen Ansätzen und ist weniger mit Unsicherheiten behaftet im Vergleich zum Indikator Va.
- Indikator VI: Direkte CO₂-Emissionen gemäss Konvention des CO₂-Gesetzes und des Treibhausgasinventars.⁶ Motivation: Die CO₂-Emissionen des Gebäudeparks bilden

nebst den energetischen Indikatoren eine wichtige Leitgrösse, um den Erfolg der klimapolitischen Massnahmen zu monitoren. Alternative könnte der Anteil der Gebäude bzw. Flächen mit Emissionen über einem oder mehreren Schwellenwerten (z.B. 20 kg/m², 15 kg/m², 10 kg/m², 5 kg/m²) berechnet werden.

- Indikator VII: CO₂-Emissionen gemäss LCA-Ansatz. Dabei wird von einer CO₂-freien Stromversorgung ausgegangen. Der Fernwärmemix entspricht den Angaben der kantonalen Statistik Baselland. Motivation: in Ergänzung zu den direkten Effekten werden auch indirekte Wirkungen von Gebäudemassnahmen berücksichtigt, namentlich was den Bereich Fernwärme betrifft.

4.2.1 Anteil erneuerbare Wärme (Ziel II)

Als Proxy für den Indikator des Ziels II (Definition siehe Kap. 1.1) wird der Anteil erneuerbare Wärmeenergie im Gebäudebereich betrachtet. Dieser hat von 24% im Jahr 2016 auf 28% im Jahr 2020 kontinuierlich leicht zugenommen (siehe Abbildung 15). Für das Ziel von 40% bis 2030 müsste der Heizungsersatz noch schneller voranschreiten.

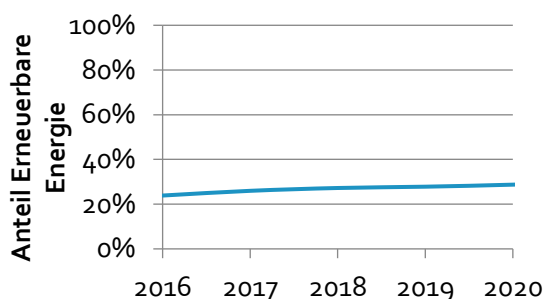


Abbildung 15: Entwicklung des Anteils erneuerbare Wärme im Gebäudebereich seit Einführung des Energiegesetzes (Proxy für Indikator II).

Quelle: TEP Energy

⁶ Entsprechend werden Emissionen aus der Fernwärme werden hier nicht bei den Gebäuden berücksichtigt

(sondern an ihrem Entstehungsort, d.h. bei der FW-Erzeugung).

4.2.2 Durchschnittlicher spezifischer Heizwärmebedarf in Neubauten (Ziel III)

Der totale Heizwärmebedarf in Neubauten pro m² EBF und Jahr (Ziel III) hat sich gemäss Berechnungen mit dem GPM in der kurzen Zeit seit der Totalrevision des Energiegesetzes nicht wesentlich verändert (abgesehen vom Einfluss der Witterung, siehe Abbildung 16). Die für das EnG massgeblichen NEM-Daten wurden mit diesen Resultaten verglichen, aber nicht direkt verwendet. Im Jahr 2016 lag der durchschnittliche Bedarf bei über 27 kWh/m² im Jahr 2020 bei knapp 28 kWh/m². Im Jahr 2018 lag der Wert kurzzeitig witterungsbedingt unter 25 kWh/m². Diese Werte liegen deutlich über dem Zielwert von 20 kWh/m², der als Durchschnitt bis 2030 zu erreichen ist. Dies mag auch mit dem sog. Energy Performance Gap (EPG) zu tun haben, der feststellt, dass der Verbrauch von effizienten Bauten (z.B. Neubauten) in der Regel höher ist als der berechnete; 20 kWh/m² wäre ein realistischer Zielwert für berechnete Werte gemäss SIA 380/1.

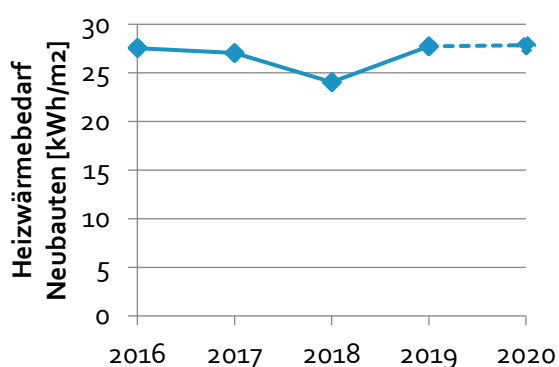


Abbildung 16: Entwicklung des totalen Heizwärmebedarfs in Neubauten m² EBF und Jahr seit der Totalrevision des Energiegesetzes (Ziel III). Die Jahre 2016 bis 2019 zeigen einen witterungsabhängigen Verbrauch (durchgezogene Linie), während im Jahr 2020 ein modellierter von der Witterung unabhängiger Verbrauch angegeben ist (gestrichelte Linie).

Quelle: TEP Energy

4.2.3 Durchschnittlicher nicht-erneuerbarer Heizwärmebedarf (Ziel IV)

Bezugnehmend auf das Ziel IV wird in Abbildung 17 der durchschnittliche Wärmebedarf pro m² EBF und Jahr für nicht-erneuerbare Energieträger in bestehenden Bauten dargestellt. Zu den nicht erneuerbaren Energieträgern wurden Erdgas und Heizöl sowie deren Anteile in der Fernwärme gezählt. Auch der Anteil Industrieabwärme und Strom in der Fernwärme gelten als nicht erneuerbar, weil bei Industrien der Bezug von Graustrom wahrscheinlich ist. Im Jahr 2018 betrug der Anteil Erneuerbare im Fernwärmemix gemäss kantonaler Statistik ca. 38%.

Die Jahre 2016 bis 2019 zeigen einen witterungsabhängigen Verbrauch, während im Jahr 2020 ein modellierter von der Witterung unabhängiger Verbrauch angegeben ist. Die Anzahl Heizgradtage im Jahr 2016 waren höher als der Wert, der der Modellierung im Jahr 2020 zugrunde liegt. Hingegen war im Jahr 2018 die Anzahl Heizgradtage unterdurchschnittlich. Die Abhängigkeit des nicht-erneuerbaren Wärmebedarfs von der Witterung ist in der Abbildung sichtbar: im Jahr 2016 lag der Verbrauch noch bei knapp 73 kWh/m² und taucht im Jahr 2018 auf 61 kWh/m² ab. Im Jahr 2020 liegt der Wert bei 72 kWh/m². Insgesamt hat der nicht erneuerbare Wärmebedarf seit 2016 abgenommen, wobei der grössere Teil dieses Effekts auf die Substitution von fossilen Energieträgern mit erneuerbaren zurückzuführen ist und zu einem geringeren Teil auf die energetischen Erneuerungsarbeiten.

Hinweis: die von TEP Energy mit dem GPM berechneten Werte sind nicht direkt mit den vom Statistischen Amt aus der Energiestatistik abgeleiteten Werten vergleichbar. Dem GPM liegen – wie bei der Herangehensweise nach SIA üblich – berechnete Werte zugrunde, der Energiestatistik jedoch aus gemessenen Gasverbräuchen hergeleitete Verbräuche. Weitere methodische Unterschiede bestehen bei der Abschätzung des Wärmebedarfs für das Warmwasser.

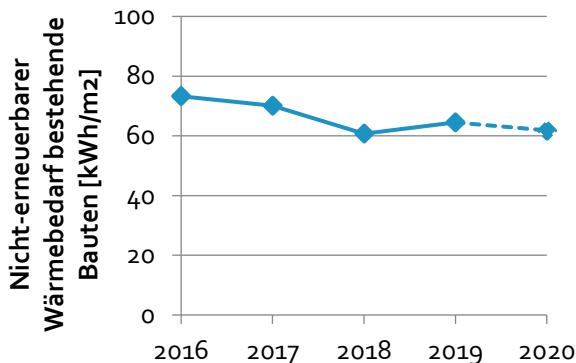


Abbildung 17: Entwicklung des nicht-erneuerbaren Wärmebedarfs pro m² EBF und Jahr seit der Totalrevision des Energiegesetzes (Ziel IV). Die Jahre 2016 bis 2019 zeigen einen witterungsabhängigen Verbrauch (durchgezogene Linie), während im Jahr 2020 ein modellierter von der Witterung unabhängiger Verbrauch angegeben ist (gestrichelte Linie).

Quelle: TEP Energy

4.2.4 Durchschnittlicher Heizwärmebedarf aller Bauten (Indikator Va)

Der durchschnittliche Heizwärmebedarf für sämtliche Bauten pro m² EBF und Jahr (Indikator Va) hat seit der Totalrevision des Energiegesetzes etwas abgenommen (siehe Abbildung 18). Seit dem Jahr 2016 ist er von rund 94 kWh/m² auf 83 kWh/m² gesunken. Im Jahr 2018 lag der Bedarf wiederum tiefer bei knapp 80 kWh/m². Dieser Effekt ist vornehmlich auf den Einfluss der Witterung zurückzuführen.

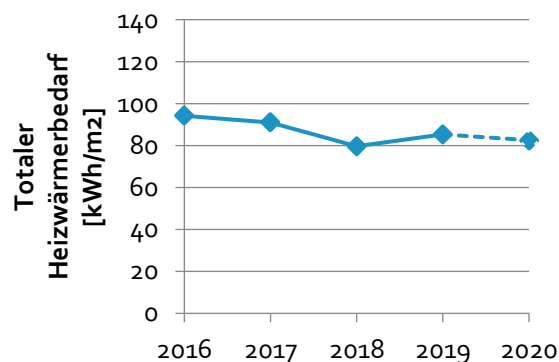


Abbildung 18: Entwicklung des totalen Heizwärmebedarfs für sämtliche Bauten pro m² EBF und Jahr seit der Totalrevision des Energiegesetzes (Indikator V). Die Jahre 2016 bis 2019 zeigen einen witterungsabhängigen Verbrauch (durchgezogene Linie), während im Jahr 2020 ein modellierter von der Witterung unabhängiger Verbrauch angegeben ist (gestrichelte Linie).

Quelle: TEP Energy

4.2.5 Endenergie Energiekennzahl Raumwärme und Warmwasser (Indikator Vb)

Abbildung 19 illustriert die spezifischen Wärmebedarfswerte (RW und WW) für Wohngebäude über verschiedene Bauperioden. Dargestellt sind Endenergiewerte aus der Energiestatistik des Kantons BL kombiniert mit den neuen EBF (gemäss Vorschlag in Kap. 3.3). Daraus wird ersichtlich, dass der Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser sowohl bei EFH als auch bei MFH ab dem Baujahr 1980 kontinuierlich sinkt. Dies dürfte namentlich auf die Einführung von energetischen Vorschriften für Neubauten zurückzuführen sein. Bei den EFH beginnt das Absinken der Mediane bereits früher; die Gründe hierfür konnten im Rahmen dieses Projekts nicht festgestellt werden.

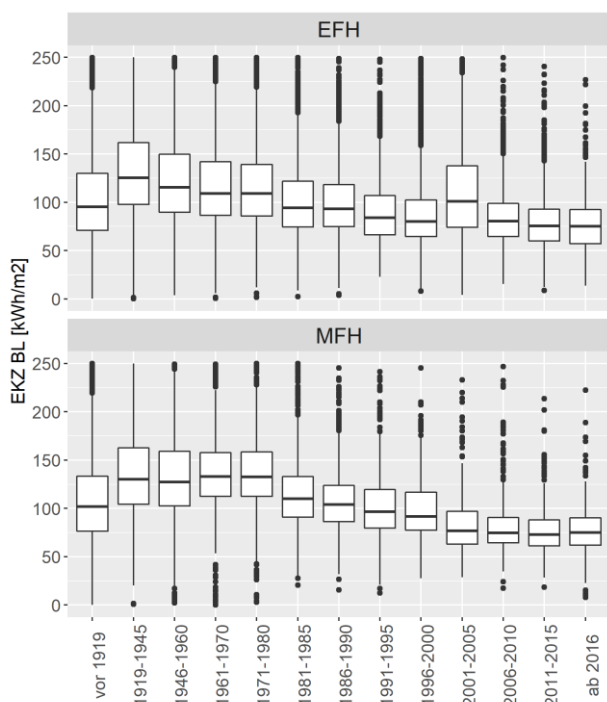


Abbildung 19: Energiekennzahlen für EFH und MFH auf Ebene Endenergie für Raumwärme und Warmwasser basierend auf der Endenergie aus der Energiestatistik des Kantons BL sowie den aktualisierten EBF (gemäss Methodik in Kap. 3.3).

Quelle: TEP Energy

4.2.6 Durchschnittliche spezifische direkte CO₂-Emissionen (Indikator VI)

Gleichzeitig sind die durchschnittlichen CO₂-Emissionen im Gebäudebereich pro m² EBF und Jahr leicht zurückgegangen (siehe Abbildung 20 und Abbildung 21). Bei der Berechnungsmethode nach dem CO₂-Gesetz (Indikator VI) haben sich die Emissionen von knapp 20 kg/m² im Jahr 2016 auf 16 kg/m² im Jahr 2020 reduziert (siehe Abbildung 20). Die Jahre 2016 bis 2019 zeigen einen witterungsabhängigen Verbrauch, während im Jahr 2020 ein modellierter von der Witterung unabhängiger Verbrauch angegeben ist. Im Jahr 2018 ist somit der warme Winter im Verbrauchswert abgebildet.

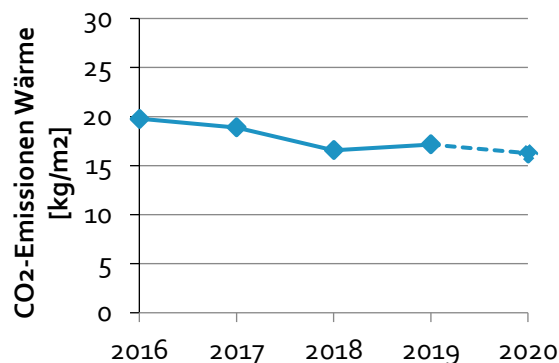


Abbildung 20: Entwicklung der durchschnittlichen CO₂-Emissionen pro m² EBF und Jahr nach CO₂-Gesetz (Indikator VI) seit der Totalrevision des Energiegesetzes. Die Jahre 2016 bis 2019 zeigen einen witterungsabhängigen Verbrauch (durchgezogene Linie), während im Jahr 2020 ein modellierter von der Witterung unabhängiger Verbrauch angegeben ist (gestrichelte Linie).

Quelle: TEP Energy

Wichtig ist diesbezüglich der Hinweis, dass dieser Indikator VI nicht direkt mit dem in Art. 10 des vom schweiz. Parlament verabschiedeten (und vom schweiz. Stimmvolk im Juni 2021 abgelehnten) CO₂-Gesetzes festgelegten Grenzwert von 20 kg/m² vergleichbar ist. Dieser gilt für einzelne Gebäude, bei welchen die Heizanlage saniert werden muss. Beim Indikator VI handelt es sich hingegen um einen Durchschnittswert, und Gebäude mit erneuerbaren Energieträgern ziehen den Wert stark nach unten.

4.2.7 Durchschnittliche spezifische gesamte CO₂-Emissionen (Indikator VII)

Bei der Berechnungsmethode nach KBOB beträgt die Reduktion 3.6 kg/m² von knapp 26 kg/m² im Jahr 2016 auf etwas über 21 kg/m² im Jahr 2020 (siehe Abbildung 21). Auch hier ist ein witterungsbedingter Rückgang im Jahr 2018 zu beobachten.

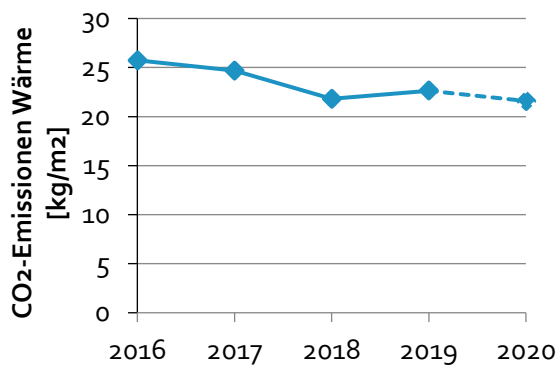


Abbildung 21: Entwicklung der durchschnittlichen CO₂-Emissionen pro m² EBF und Jahr nach KBOB (Indikator VII) seit der Totalrevision des Energiegesetzes des Kantons BL. Die Jahre 2016 bis 2019 zeigen einen witterungsabhängigen Verbrauch (durchgezogene Linie), während im Jahr 2020 ein modellierter von der Witterung unabhängiger Verbrauch angegeben ist (gestrichelte Linie).

Quelle: TEP Energy

4.3 Empfehlungen zu den Energie- und Klimaindikatoren

Mit Verweis auf die durchgeführten Analysen und Darlegungen in Kap. 3 und 4 geben die Autoren dieses Berichts in Bezug auf die verschiedenen Indikatoren folgende Empfehlungen ab:

- Ziel und Indikator II: Der Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch (ohne Mobilität) soll bis zum Jahr 2030 auf mindestens 40 % gesteigert werden. Empfehlung: könnte durch Indikator VI und / oder VII abgelöst werden, kann aber auch beibehalten oder verschärft werden, z.B. zum Zweck der Nachvollziehbarkeit und der Kommunikation.
- Ziel und Indikator III: Im Gebäudebereich soll bis zum Jahr 2030 der Heizwärmebedarf für Neubauten auf durchschnittlich 20 kWh pro Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF) und Jahr gesenkt werden.
- Empfehlung: grundsätzlich beibehalten, ggf. Ausgestaltung leicht anpassen. Vierjahresdurchschnitte bilden (statt 2016 bis 2030).
- Ziel und Indikator IV: Im Gebäudebereich soll bis zum Jahr 2050 der nicht-erneuerbare Heizwärmebedarf für bestehende Bauten auf durchschnittlich 40 kWh pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr gesenkt werden. Empfehlung: ablösen, da die Themen Energieeffizienz und Erneuerbarkeit vermischt werden, was analytisch und vollzugstechnisch wenig zielführend ist. Alternativen: Indikator Va oder Vb und/oder Indikatoren VI und VII.
- Indikator Va: Durchschnittlicher Heizwärmebedarf aller Bauten (entspricht der ursprünglichen Formulierung des Ziels nach § 1 Abs. 2 BST. B Eng BL, Stand 01.07.2013) Empfehlung: Einführen zur Ablösung des Indikators IV, wobei Indikator Vb vorzuziehen ist.
- Indikator Vb: Endenergie Energiekennzahl Raumwärme und Warmwasser. Empfehlung: einführen. Grund; ist näher an originären Daten und Berechnungen der Energiestatistik des Kantons BL, vermeidet Mischung von ingenieurwissenschaftlichen und statistischen Ansätzen und ist weniger mit Unsicherheiten behaftet im Vergleich zum Indikator Va.
- Indikator VI: Durchschnittliche spezifische direkte CO₂-Emissionen. Empfehlung: einführen. Ausgestalten als Anteil Flächen mit spez. Emissionen über gewissen Schwellenwerten, um gezielt Gebäude mit hohen Emissionen angehen zu können.
- Indikator VII: Durchschnittliche spezifische gesamte CO₂-Emissionen. Empfehlung: einführen.



5 Räumliche Energieanalyse und Potenziale

Als Grundlage für die Wirkungsabschätzung von spezifischen energiepolitischen Massnahmen werden die räumlichen Potenziale der erneuerbaren Energien und ihre Nutzungsmöglichkeiten und Einschränkungen analysiert. Hierbei wird gemäss der Methodik in der WIS Studie (Jakob et al., 2020) für den Kanton Baselland vorgegangen:

- Potenzielle thermische Verbunde wurden mittels Clusteranalyse identifiziert (Kapitel 4.1 der WIS Studie).
- Das Potenzial verschiedener ortsfesten und standortgebundenen erneuerbaren Energiequellen wurde quantifiziert und räumlich strukturiert (Kapitel 4.2 der WIS Studie).

5.1 Dezentrale, gebäudebezogene Potenziale

Standort- und gebäudegebundene Potenziale sind direkt an eine konkrete Nutzung gebunden. Der Ertrag von thermischer Solarenergie ist zum Beispiel von einem Bedarf von Wärme für Warmwasser und Heizung abhängig. Analog gilt dies für die Wärmequellen Luft (Nutzung durch Luft-Wasser-WP) oder Erdreich (Nutzung durch gebäudebezogene Erdwärmesonde).

Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen sind Grundstücksabstände sowie Lärmschutz-Grenzwerte bestimmend, ob eine Aussenaufstellung der

Wärmepumpe oder der Split-Einheit auf einem Grundstück möglich ist. Auch ob die erwartete Wärmenachfrage grösser ist als die mögliche Leistung einer Luft-Wasser Wärmepumpe ist davon abhängig. Im Sinne einer Vereinfachung wird der erforderliche Mindestabstand an die Leistung geknüpft (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Angenommene Mindestabstände zum Nachbargebäude für eine Luft-Wasser Wärmepumpe einer bestimmten Leistung.

Leistungsbedarf	Mindestabstand
10 kW	4 m
20 kW	7 m
35 kW	12 m
65 kW	22 m

Quelle: TEP Energy, übernommen aus Jakob et al. (2020)

Ausgehend vom Leistungsbedarf eines Gebäudes wird somit untersucht, ob bei Einhaltung der Mindestabstände zum Nachbar- und zum eigenen Gebäude auf der Parzelle genügend Platz für die Aussenaufstellung der Split-Einheit verfügbar ist oder nicht (siehe Abbildung 22).

Mittels einer GIS-Analyse ergibt sich für den Kanton BL ein nutzbares Potenzial von 0.9 bis 1.0 TWh (je nach Szenario). Dieses Potenzial fällt vor allem bei Einfamilienhäusern an, bei denen in der Regel eine Lösung gefunden werden kann. Dasselbe gilt eingeschränkt für einen Teil der freistehenden MFH sowie für Gebäude des Dienstleistungssektors (die eher in weniger lärmempfindlichen Zonen stehen). Eine Herausforderung stellen jedoch innerstädtische und sonstige dicht bebaute Siedlungsstrukturen dar, namentlich Blockrandbebauungen. Hier sind neue innovative Lösungen erforderlich, um Luft-Wasser-WP nutzen zu können.

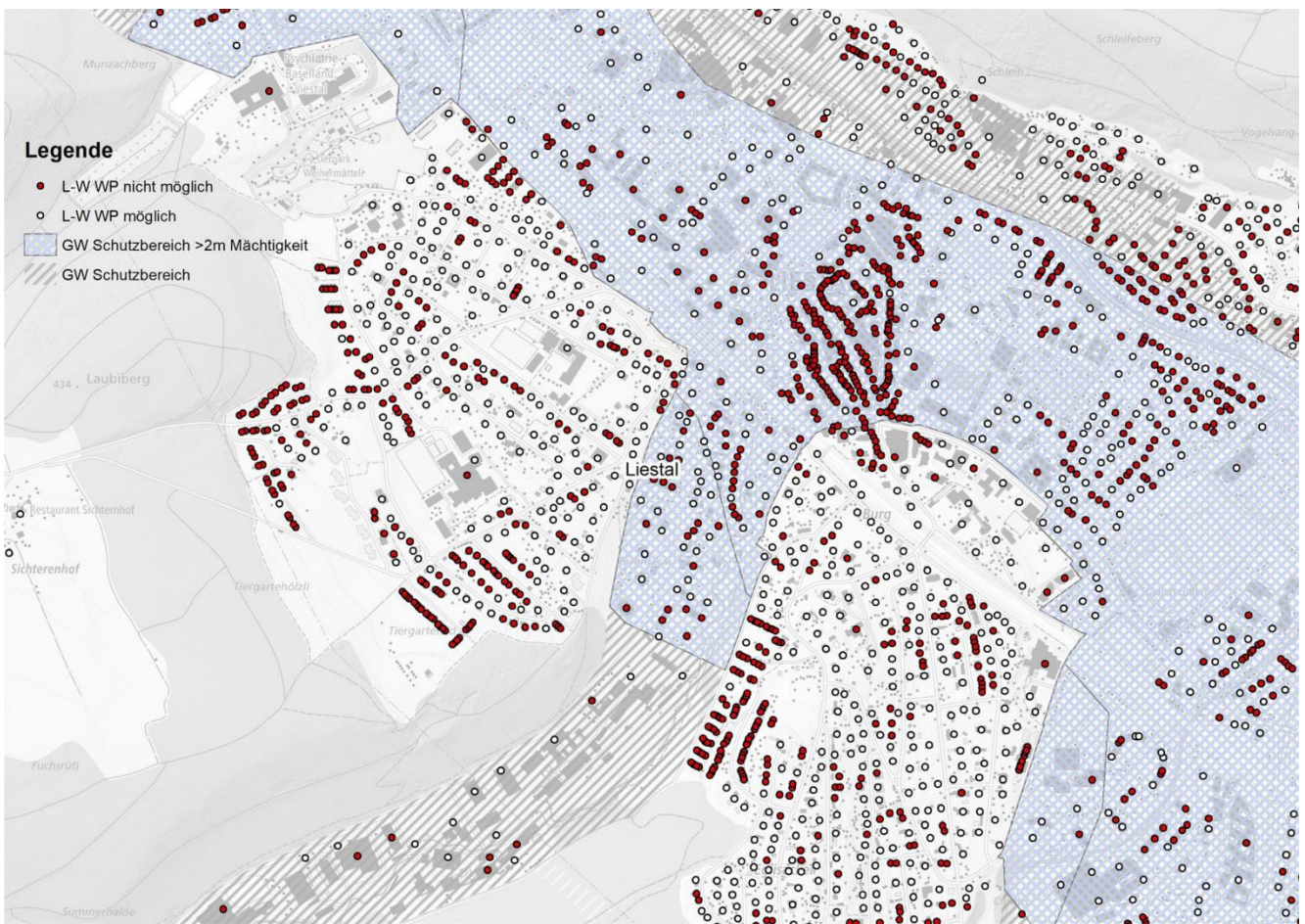


Abbildung 22: Exemplarische Illustration von Situationen, bei denen eine Aussenaufstellung einer WP mit oder ohne Split-Einheit möglich ist oder nicht (siehe Legende). Beispiel für die Gemeinde Liestal (Ausschnitt).

Quelle: TEP Energy

5.2 Räumliche Potenziale von ortsgebundenen Energiequellen

Die Nutzung des Grundwassers stellt eine Möglichkeit dar, erneuerbare Energie in Form von Umweltwärme für den Gebäudebereich zu nutzen. Zu beachten sind hierbei das energetische Dargebot, das von u.a. von der Mächtigkeit des Grundwasserlayers abhängt (siehe Abbildung 23 für eine Illustration) sowie der Fließgeschwindigkeit. Ebenso zu berücksichtigen sind gesetzliche Anforderungen, zum einen bezüglich der zulässigen Temperaturveränderung des Grundwassers und zum anderen grundsätzlich bzw. der Zulässigkeit, das Grundwasser für energetische Zwecke zu nutzen.



Abbildung 23: Grundwasserschutzbereich im Vergleich zum Siedlungsgebiet für das Beispiel der Gemeinde Liestal (Ausschnitt)

Quelle: TEP Energy

Die Quantifizierung der Grundwasser bezogenen (und weiterer) Potenziale wurde gemäss der in der WIS-Studie beschriebenen Vorgehensweise und mittels auf den Kanton BL bezogene Daten vorgenommen.

5.3 Zuordnung nachfrageseitige Cluster und räumliche Potenziale

Abbildung 24 bis Abbildung 26 zeigen die räumliche Ausdehnung der nachfrageseitigen Cluster je nach angenommenen Grenzkosten (tief, mittel und hoch) sowie die verschiedenen Energiequellen. Die mögliche Zuordnung zwischen Gebieten mit Potenzial für Wärmeverbunde und erneuerbaren Energiequellen wird für den Kanton Baselland als Ganzes in Tabelle 9 aufgeführt.

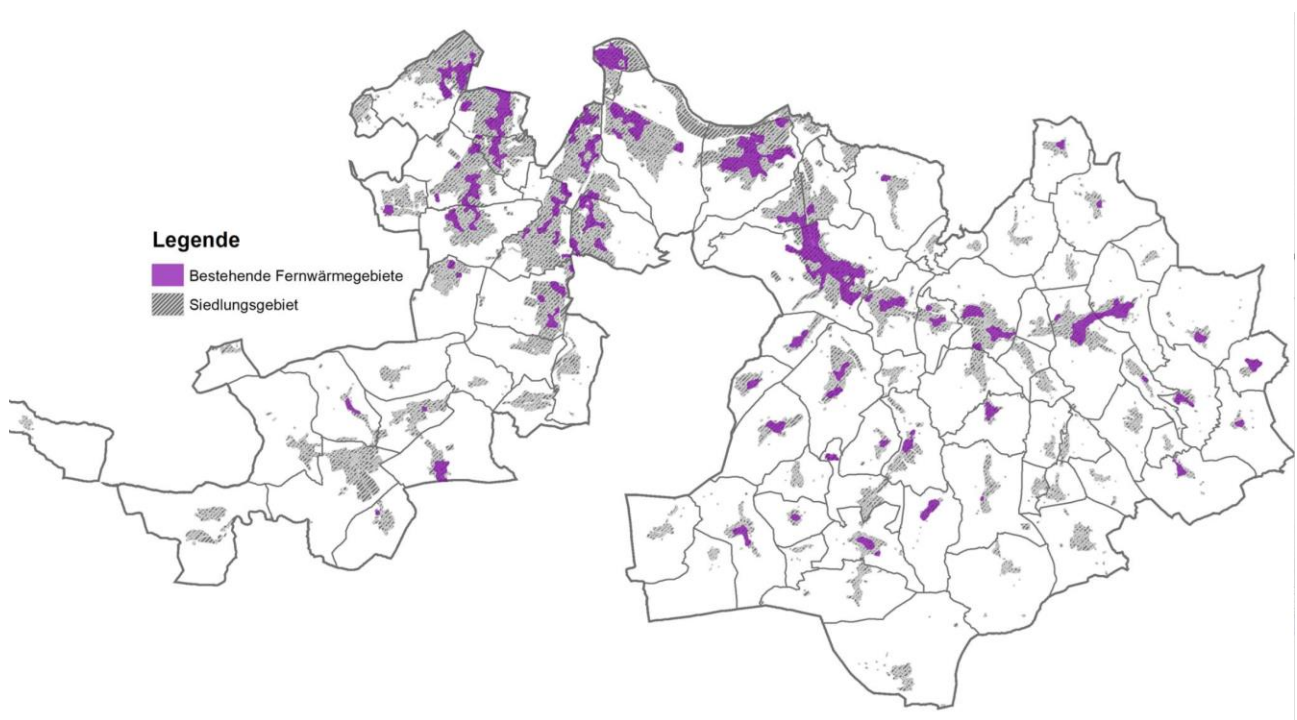


Abbildung 24: Kartografische Darstellung des heutigen Fernwärmeversorgungsgebiets im Kanton BL. Dieses wurde auf Basis der Energieträgerinformation im Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) des Kantons BL (Statistisches Amt des Kantons Basel-Landschaft, 2020) ermittelt.

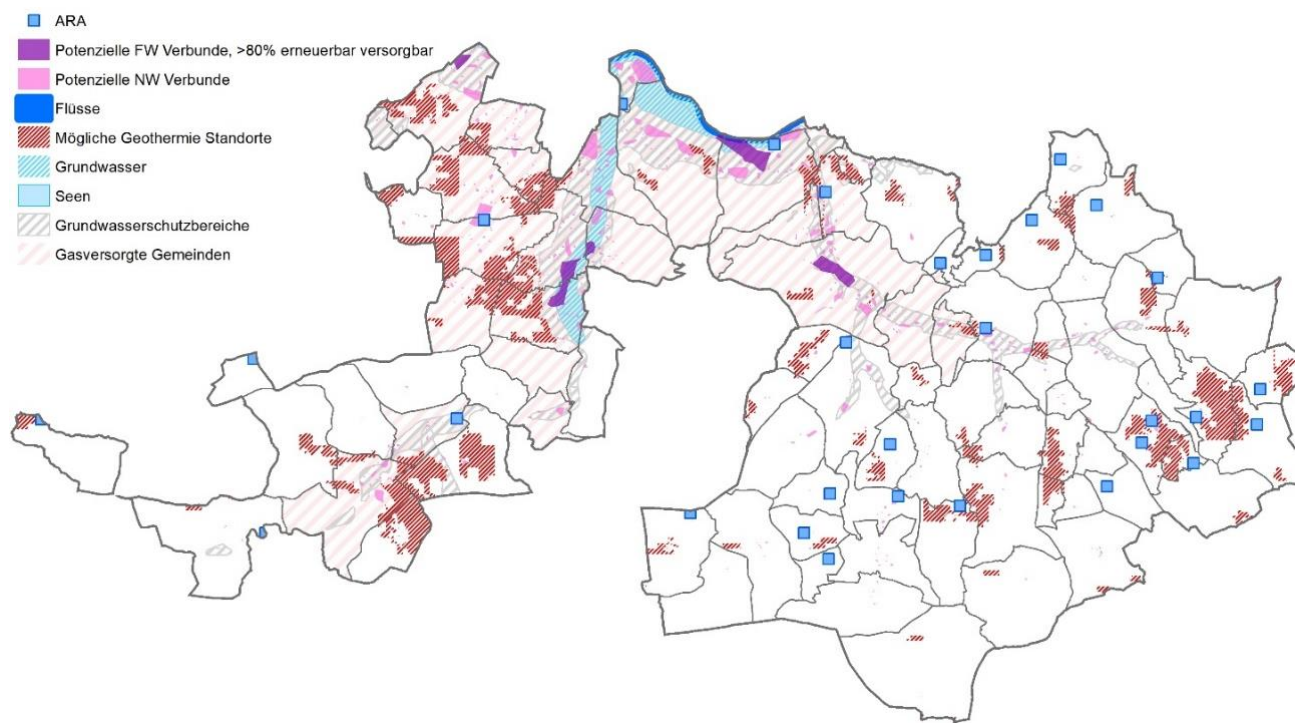


Abbildung 25: Kartografische Darstellung der wärmeseitigen erneuerbaren Energiequellen: potenzielle thermische Verbunde gemäss WIS, Grenzkosten tief.

Quelle: TEP Energy

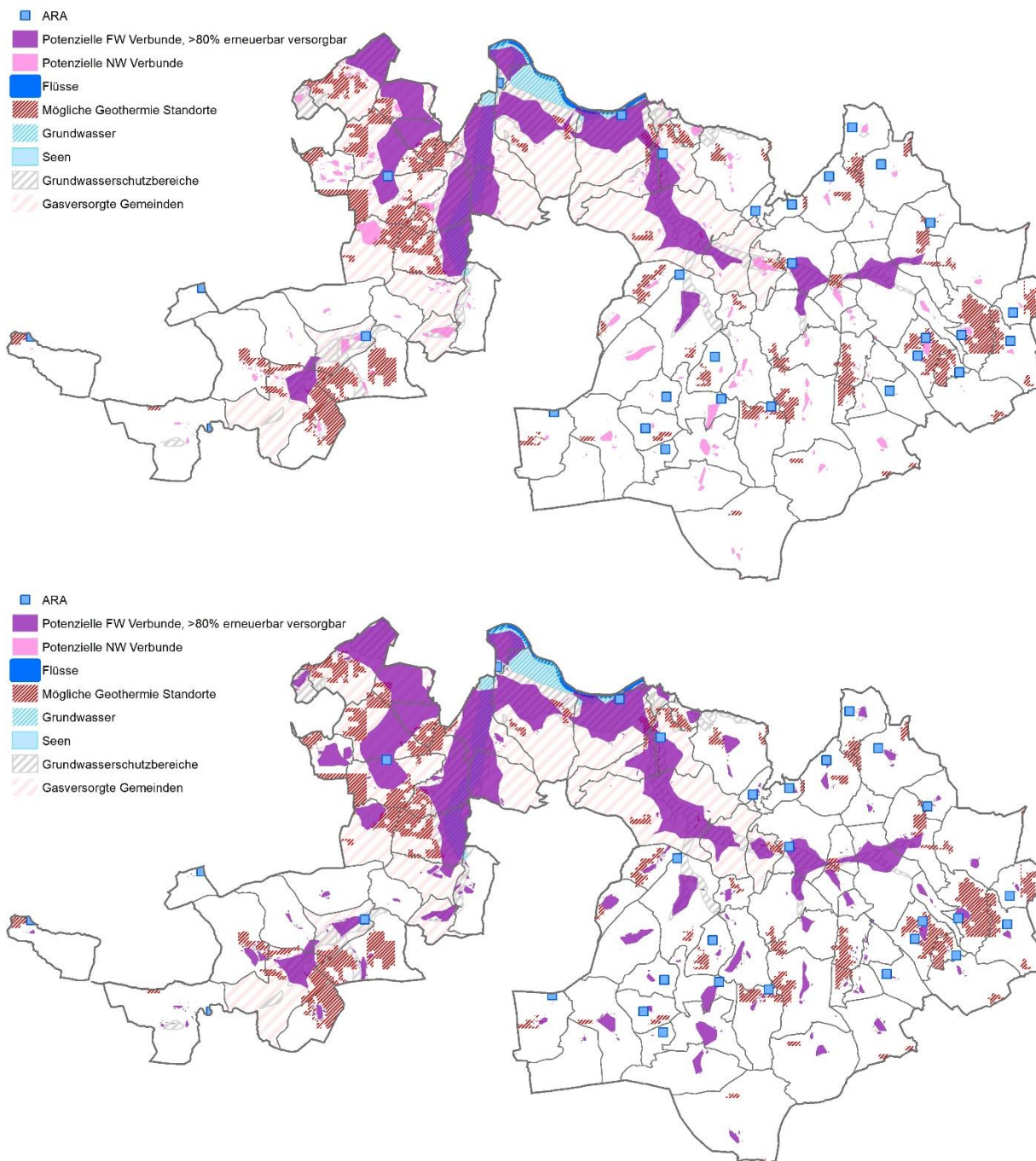


Abbildung 26: Kartografische Darstellung der wärmeseitigen erneuerbaren Energiequellen: potenzielle thermische Verbunde gemäss WIS, Grenzkosten mittel (oben) und hoch (unten).

Quelle: TEP Energy

Gemäss kantonaler Energiestatistik wurden im Jahr 2018 350 GWh Fernwärme bezogen, davon etwa 50% aus erneuerbaren Energiequellen, mehrheitlich Holzenergie. Das Potential an erneuerbaren Energiequellen, welches über thermische Netze genutzt werden könnte, beträgt jedoch ein Vielfaches davon, je nach angenommenen Grenzkosten der Wärmeverteilung zwischen 650 GWh (tiefe Grenzkosten) und 1'500 GWh (hohe Grenzkosten). Insbesondere bei der Flusswasserwärme und der ARA-Abwärme besteht noch viel ungenutztes Potenzial.

Tabelle 9: Erneuerbares Potenzial nach Quelle (GWh), welches einem potenziellen thermischen gebäudebezogenen Verbund zugeordnet werden kann. Resultat aus der WIS Studie für den Kanton Basel-land, gemäss Priorisierung See / Fluss / Grundwasser / Geothermie.

Quelle	Tief	Mittel	Hoch
KVA	0	0	0
ARA	113	228	228
EHS	13	7	7
See	0	0	0
Fluss	125	738	1018
Grundwasser	87	10	74
Geothermie	78	171	173
Andere (Holz, etc.)	236	188	122

Quelle: TEP Energy, Januar 2021

Gemäss räumlichen GIS-Analysen ist bis ins Jahr 2050 bei tiefen Wärmeverteilungsgrenzkosten eine Erschliessung von 43% der Energiebezugsflächen (EBF) mit Energieverbänden möglich. (siehe Tabelle 10). Bei rund zwei Fünfteln davon (18%-Punkte) sind keine dezentralen WP möglich (wegen Potenzialbeschränkungen aufgrund von Gewässer und Lärmschutzbestimmungen). Bei mittleren Grenzkosten beträgt besagte Erschliessung rund 80% der EBF, wobei bei mehr als einem Drittel davon (29%-Punkte) keine dezentralen WP möglich sind. Dafür reduziert sich

der Anteil der EBF, bei denen kein Potenzial besteht (weder EV noch dezentrale WP) bei den mittleren Grenzkosten auf praktisch 0. Bei hohen Grenzkosten können 88% der EBF in einem Energieverbund versorgt werden.

Zur Deckung der Nachfrage zum Einsatz kommen können die in Tabelle 9 aufgelisteten Potenziale.

21% der EBF können heute weder mit thermischem Energieverbund noch mit dezentralen WP mit erneuerbarer Energie versorgt werden. Im Jahr 2050 beträgt dieser Anteil bei tiefen Grenzkosten nur noch 11% der EBF und bei mittleren bis hohen Grenzkosten lediglich zwischen 0-1%.

Tabelle 10: Energiebezugsfläche pro Potenzialverfügbarkeit (in Prozent).

Potenzialverfügbarkeit	2020	2050		
		Tief	Mittel	Hoch
Nur EV (ohne dezentrale WP)	12%	18%	29%	29%
EV+dWPE+dWPL	14%	25%	52%	59%
dWPE+dWPL	20%	20%	11%	6%
Nur dWPE	17%	13%	3%	1%
Nur dWPL	16%	12%	4%	4%
Keine	21%	11%	1%	0%
Total	100%	100%	100%	100%

EV: Energieverbund ohne dezentrale WP, dWPE: dezentrale Erdsonden-WP, dWPL: dezentrale Luft/Wasser-Wärmepumpe

Quelle: TEP Energy, Februar 2021

5.4 Fazit räumliche Energie- und Potenzialanalysen

Aus den Ergebnissen der räumliche Energie- und Potenzialanalysen kann folgendes Fazit festgehalten werden:

- Ein grosser Teil der EBF kann mit dezentralen WP versorgt werden: rund 70%
- Rund 30% der EBF können nicht durch dezentrale WP versorgt werden. Für diese Gebäude sind alternative Lösungen zu entwickeln. In Frage kommen vor allem die folgenden beiden Ansätze:
 - Thermische Netze (Energieverbünde) zur Nutzung von räumlich gebundenen erneuerbaren Energiepotenzialen
 - Transportier- und lagerfähige Brennstoffe wie Holz (oder ggf. Biodiesel, wobei anzumerken ist, dass es derzeit kein verbreitetes Marktangebot gibt).

Subsidiär kann in speziellen Zonen (z.B. historische Altstadtzentren) örtliche auch die Beibehaltung des Gasnetzes und der Einsatz von Biogas in Frage kommen. Aus strategischer Sicht sollte dieses allerdings nicht flächig im Gebäudebereich eingesetzt werden, siehe Energiestrategie 2050+ des Bundes. Grundsätzlich ist auch erneuerbar erzeugtes Methan (P2G) denkbar. Dessen Erzeugung geht jedoch mit einem sehr hohen Strombedarf einher (ein Mehrfaches der Nutzenergie, im Gegensatz zu den WP, bei denen der Stromverbrauch ein Bruchteil der Nutzenergie beträgt). Die Nutzung von Biogas und v.a. von erneuerbar erzeugtem Methan sind zudem mit hohen Brennstoffkosten verbunden, siehe z.B. Gorre, Ortloff, & van Leeuwen (2019).

Mit Verweis auf die beschränkten Potenziale und aufgrund strategischer Überlegungen wird auf letztere, d.h. thermische Netze, fokussiert. Diese könnten bei der Annahme von mittleren Grenzkosten der Wärmeverteilung rund 80% der EBF versorgen und der Anteil der EBF, die weder mit dezentraler WP noch einem thermischen

Netz versorgt werden kann damit auf praktisch o gesenkt werden.

Damit lässt sich feststellen, dass eine Dekarbonisierung des Gebäudesektors im Kanton BL machbar ist und wirtschaftlich vertretbar umgesetzt werden kann.



6

Literaturverzeichnis

EnG BL. (2016). *Energiegesetz (EnG BL)*.

Retrieved January 15, 2021, from
https://bl.clex.ch/app/de/texts_of_law/490

Gorre, J., Ortloff, F., & van Leeuwen, C. (2019).
*Production costs for synthetic methane in
2030 and 2050 of an optimized Power-to-Gas
plant with intermediate hydrogen storage.*

Elsevier. *Applied Energy*, 253, 113594.
[https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.
113594](https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.113594)

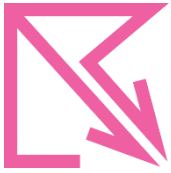
Jakob, M., Catenazzi, G., Sunarjo, B., Müller, J.,

& Weinberg, L. (2021). *Kantonale
Energiekennzahlen und CO₂-Emissionen im
Gebäudebereich*. TEP Energy i.A. BAFU,
KVU und EnFK. Zürich.

Jakob, M., Reiter, U., Catenazzi, G., Sunarjo, B.,
Lienhard, L., Müller, A., ... Nägeli, C. (2020).
*Erneuerbare- und CO₂-freie
Wärmeversorgung Schweiz: Eine Studie zur
Evaluation von Erfordernissen und
Auswirkungen*. TEP Energy und ECOPLAN
i.A. AEE SUISSE, Wärmeinitiative Schweiz
(WIS). Zürich.

Statistisches Amt. (2017). *Energiestatistik -
Konzeptioneller und methodischer Leitfaden*.
Präsidialdepartement des Kantons Basel-
Stadt. Basel.

Statistisches Amt des Kantons Basel-
Landschaft. (2020). *Kantonales Gebäude-
und Wohnungsregister (GWR)*.



7 Anhang

7.1 Zusätzliche Informationen statistische Modelle

Simplex lineares Modell

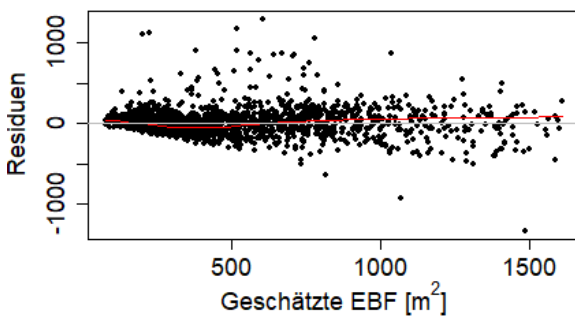


Abbildung 27: Simplex lineares Modell

Quelle: TEP Energy

7.2 Heizenergieträger Erhebung

Abbildung 28 illustriert die Heizenergieträgeranteile für EFH, MFH und NWG als Ergebnis der Auswertung der erhobenen Daten. Heizöl und Gas sind mit je rund 30% nach wie vor die Hauptenergieträger. Für EFH ist auch der Anteil an Wärmepumpen bereits beachtlich. Bei den MFH und NWG wird im Vergleich zu den EFH deutlich mehr Fernwärme genutzt. In rund 5% bis 10% der Gebäude ist Holz der Hauptenergieträger

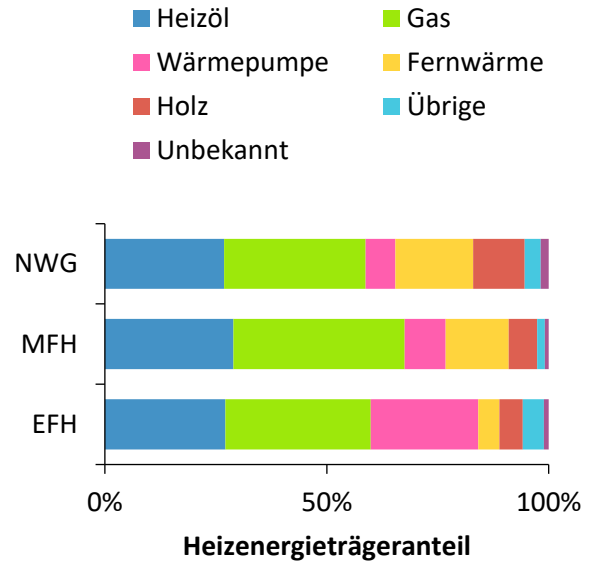


Abbildung 28: Heizenergieträgeranteile für Wohngebäude im Kanton BL. Deskriptive Auswertung aus der Erhebung.

Quelle: Datenerhebung und Auswertung TEP Energy

Eine Aufschlüsselung der Heizenergieträgeranteile differenziert nach vier Bauperioden ist in Abbildung 29 (Wohngebäude) und Abbildung 30 (Nichtwohngebäude) abgebildet.

Bei den Wohngebäuden ist der Holzanteil bei älteren Gebäuden mit Baujahr bis 1945 und neueren Gebäuden mit Baujahr ab 2001 am höchsten. Bei den Gebäuden mit Baujahr ab 1946 steigt der Anteil an Ölheizungen an. Ab 1981 kommt der Anstieg der Gasheizungen. Bei den Gebäuden mit Baujahr ab 2001 kommen vermehrt Wärmepumpen zum Einsatz. Eine ähnliche Entwicklung zeigt sich bei den NWG mit einem deutlich höheren Anteil an Fernwärme und weniger Wärmepumpen.

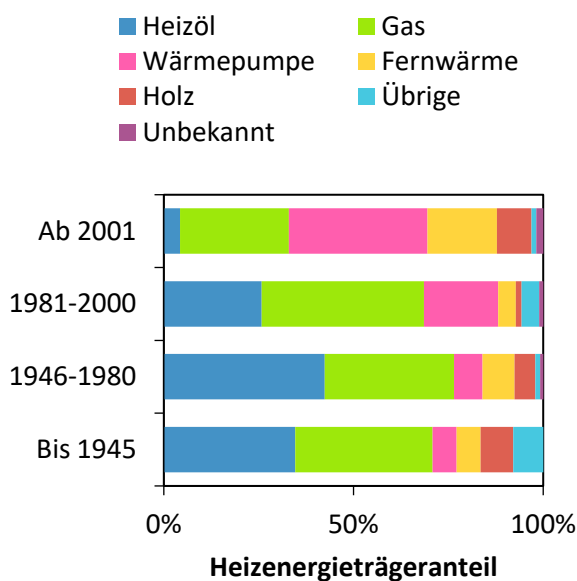


Abbildung 29: Heizenergieträgeranteile in Wohngebäuden des Kantons BL für die Bauperioden bis 1945, 1946-1980, 1981-2000 und ab 2001. Deskriptive Auswertung aus der Erhebung.

Quelle: Datenerhebung und Auswertung TEP Energy

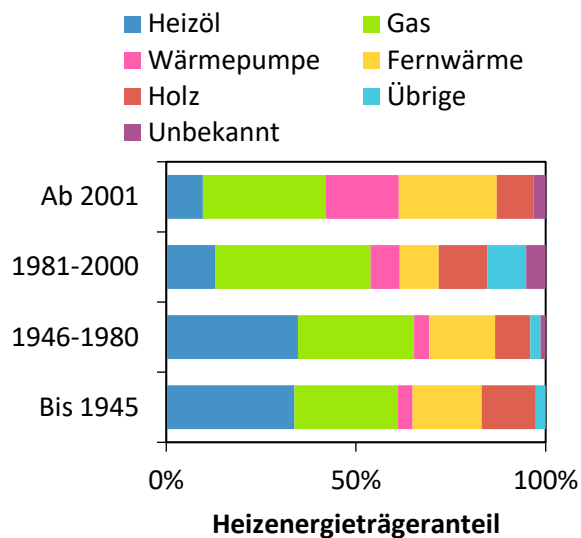


Abbildung 30: Heizenergieträgeranteile in Nichtwohngebäuden des Kantons BL für die Bauperioden bis 1945, 1946-1980, 1981-2000 und ab 2001. Deskriptive Auswertung aus der Erhebung.

Quelle: Datenerhebung und Auswertung TEP Energy

7.3 Vergleich Modellergebnisse vs. Statistik

Auf der linken Seite in Abbildung 31 sind Werte aus der Energiestatistik des Kantons BL, auf der rechten Seite die Werte aus dem GPM dargestellt. Bei den EFH liegen die GPM-Werte leicht höher, bei den MFH weisen die Werte aus der Energiestatistik leicht höhere Werte auf. Die Unterschiede bzgl. EBF wurden bereits berücksichtigt, wobei im GPM die Energiebezugsfläche gemäss dem im Kap. 3.1 beschriebenen Verfahren berechnet wurde. Für die Differenzen könnten auch typologische Gründe verantwortlich sein.

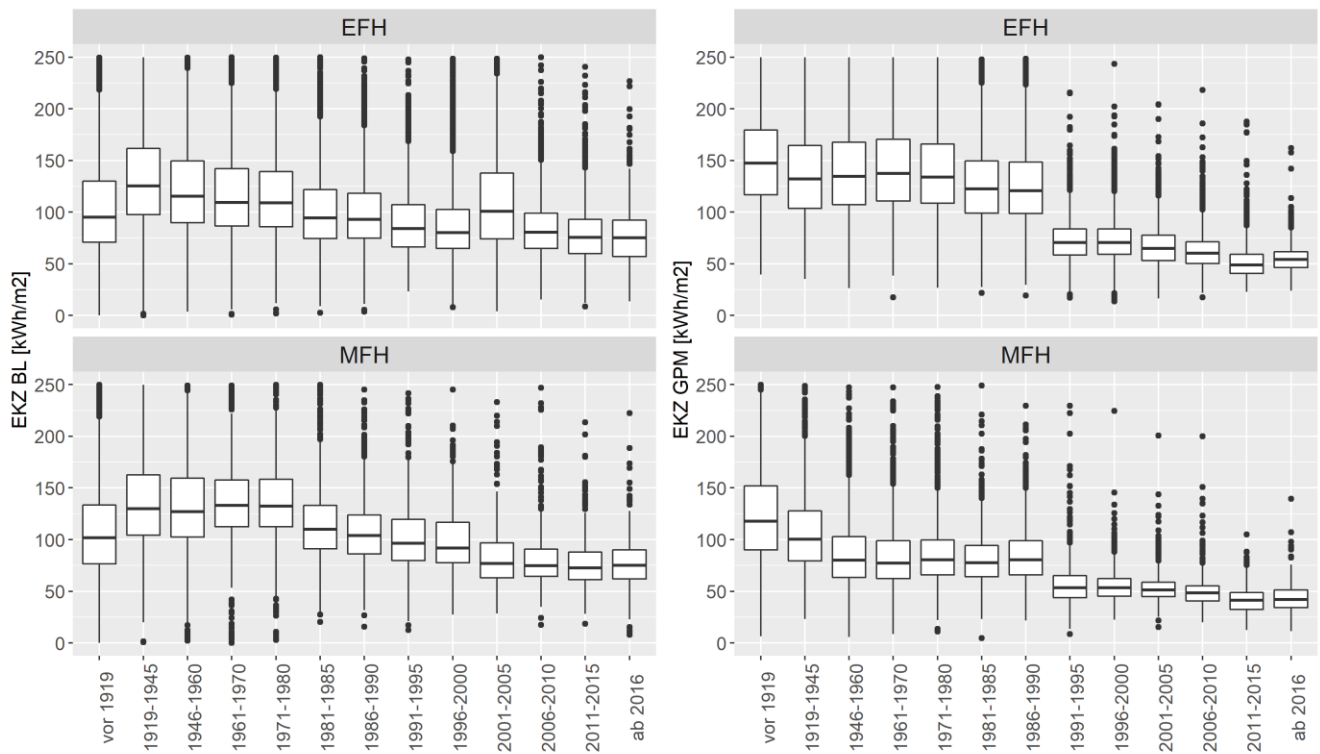


Abbildung 31: Energiekennzahlen für EFH und MFH auf Ebene Endenergie für Raumwärme und Warmwasser basierend auf den gebäudescharfen Grundlagendaten der Energiestatistik des Kantons BL (links) und der GPM-Resultate (rechts) anhand der gleichen Energiebezugsfläche.

Quelle: AUE, Auswertung und Modellrechnung TEP Energy

TEP Energy GmbH – Unabhängig, fundiert, visionär

Wir von TEP sind unabhängige Energiespezialisten. Mit unseren Modellen, Tools und Studien machen wir Sie bereit für die Energiezukunft. Wir forschen und beraten zu Themen der Energienachfrage, Energieeffizienz und Klimawandel. Technologische, wirtschaftliche und umsetzungspolitische Aspekte stehen dabei im Fokus. Entsprechend steht TEP für Technology, Economics und Policy.