

Derrière-le-Canal 359, numéros: 247 et 253, potentiel: 80 kW (puissance totale)

- **Collège du Sud – centre scolaire**, Bulle, Rue de Dardens 79, numéro: 858, potentiel: 50 kW
- **Arsenal cantonal/Caserne de la Poya**, Fribourg, Avenue Général-Guisan 1, 11, 13 et 15, numéros: 71, 75, 76, 77, potentiel: 130 kW (puissance totale)
- **Collège St-Michel – centre sportif**, Fribourg, Rue Saint-Pierre Canisius 16, numéro: 45, potentiel: 40 kW. Une partie du potentiel solaire peut servir au chauffage de l'eau de la piscine. L'installation d'un système solaire est prévue pour 2014.
- **Etablissements de Bellechasse – rural**, Galmiz, Erlehenhof 1a et 1c, numéros: 362 et 363, potentiel: 50 kW (puissance totale)
- **Etablissements de Bellechasse – halle d'entreposage**, Galmiz, Tannenhof 1c et 1h, numéro: 387, potentiel: 70 kW (puissance totale)
- **Institut Agricole de Grangeneuve – Porcherie**, Posieux, Route de Grangeneuve 16 et 16a, numéros: 561 et 885, potentiel: 30 kW (puissance totale)
- **Camp militaire – dortoir**, Plaffeien, Schwarzsee 320, numéro: 513, potentiel: 30 kW
- **Collège de Gambach (en construction)**, Fribourg, Avenue Louis Weck-Reynold, potentiel 60 kW

Catégorie C

Les bâtiments appartenant à la Confédération:

- **RN Entretien – centre d'entretien (et halle à sel)**, Domdidier, Route de l'Industrie 112 et 112b, numéros: 875 et 878, potentiel: 80 kW.
- **Centre d'entretien – dépôt sel, garage et atelier**, Granges-Paccot, Chemin de la Madeleine 2, 4 et 6, numéros: 392, 393 et 394, potentiel: 160 kW.
- **RN Entretien – centre d'entretien, garage, entrepôt à sel**, Vaulruz, Les Ponts-d'Amont 6, 6a, 6b, 8 et 8a, numéros: 682, 683, 734, 735 et 736, potentiel: 80 kW (puissance totale).
- **Entrepôt**, Fribourg, Avenue Général-Guisan 21, potentiel: 50 kW.

6. CONCLUSION

En fonction du résultat de l'étude et des disponibilités financières, le Conseil d'Etat souhaite poursuivre les travaux en vue de satisfaire aux exigences de l'article 5 al. 6 de la loi sur l'énergie qui précise que «pour leur propre besoin en électricité, les bâtiments de l'Etat et des communes sont progressivement alimentés par les entreprises d'approvisionnement en électricité au moyen de courant vert labellisé Naturemade Star ou équivalent, produit dans le canton». Ainsi, les objectifs fixés dans le programme «Energie 2009» pourront être progressivement atteints.

Ainsi l'Etat entend poursuivre son rôle d'exemplarité en matière d'énergie tel que défini dans sa stratégie énergétique adoptée en 2009.

Nous vous demandons de prendre acte de ce rapport.

BERICHT Nr. 231

25. Januar 2011

des Staatsrats an den Grossen Rat zum Postulat Nr. 2038.08 Marie-Thérèse Weber-Gobet/Albert Bachmann betreffend Inventar der Flächen auf öffentlichen Gebäuden, die sich für thermische und photovoltaische Solaranlagen eignen

Wir unterbreiten Ihnen hiermit den Bericht zum Postulat Marie-Thérèse Weber-Gobet/Albert Bachmann über die Erstellung eines Inventars der Flächen auf öffentlichen Gebäuden, die sich für thermische und photovoltaische Solaranlagen eignen.

Der Bericht ist wie folgt gegliedert:

1. Einleitung
2. Methodik
3. Die photovoltaischen Potenziale
4. Die solar-thermischen Potenziale
5. Strategische Optionen und Bausteine
6. Schlussfolgerung

1. EINLEITUNG

In ihrem am 5. Juli 2008 eingereichten und gleichentags begründeten Postulat ersuchten Grossrätin Marie-Thérèse Weber-Gobet und Grossrat Albert Bachmann den Staatsrat, in Zusammenarbeit mit den Gemeinden, die es wünschen, ein Inventar der Flächen auf öffentlichen Gebäuden, die für thermische und photovoltaische Solaranlagen genutzt werden könnten, zu erstellen. Gleichzeitig sollten die technische Machbarkeit und die energetische Zweckmässigkeit geprüft werden.

In seiner Antwort vom 28. Oktober 2008 wies der Staatsrat darauf hin, dass das Potenzial von thermischen Solaranlagen auf öffentlichen Gebäuden nur von einem in Solarenergie spezialisierten Büro unter Mithilfe eines Instituts mit entsprechendem Personal (z. B. einer Hochschule) analysiert werden könne. Der Staatsrat beschloss, diese Studie in einer ersten Phase auf die 711 Gebäude zu beschränken, die dem Staat gehören, stellt dies doch eine Investition von rund 100 000 Franken dar.

Auf Empfehlung des Amts für Verkehr und Energie beauftragte das Hochbauamt das in diesem Bereich spezialisierte Unternehmen NET Nowak Energie & Technologie AG in St. Ursen mit dieser Studie.

Hierfür arbeitete das beauftragte Unternehmen eng mit dem Hochbauamt, dem Amt für Verkehr und Energie sowie dem Institut für Industrielle Technologien der Hochschule für Technik und Architektur Freiburg zusammen, bevor es im Oktober 2010 einen detaillierten Bericht von 120 Seiten übergab. Der vorliegende Bericht ist eine Zusammenfassung des Originalberichts.

2. METHODIK

Die Ermittlung der solaren Potenziale eines Gebäudeparks baut im Wesentlichen auf drei Elementen auf:

- statistische Grundlagen zu den Gebäudeobjekten
- solar-morphologische Interpretation der Gebäude (Flächen)

- Einstufung der Gebäude hinsichtlich ihrer photovoltaischen und solarthermischen Eignung

Der sogenannte statistische und solar-morphologische Ansatz erlaubt eine effiziente Erfassung des Potenzials und die Identifikation der techno-ökonomisch interessantesten Objekte. Für eine effektive Nutzung des solar-energetischen Potenzials sind konkret weitere detailliertere Abklärungen auf Stufe Vorprojekt nötig (Statik, optimierte Auslegung der Anlage entsprechend der bestehenden Situation, verwendete/zu verwendende Materialien, Konkurrenznutzung der Dachfläche, Komponenten des Energiesystems usw.).

Die angewendete Methodik ist in den 1990er-Jahren an der Universität Freiburg entwickelt und auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene mehrfach validiert worden. Ein besonderes Merkmal des verwendeten Ansatzes ist die gezielte Kombination der statistischen Daten aus verschiedenen Quellen mit den speziell erhobenen Informationen und Daten zur solaren, technischen, energetischen und architektonischen Eignung der Gebäude.

2.1 Statistische Grundlagen

Die statistischen Daten wurden vom Hochbauamt des Staats Freiburg zur Verfügung gestellt. Diese Informationen wurden durch eine Reihe weiterer Daten der amtlichen Vermessung ergänzt, die auf der Webseite des Amtes für Vermessung und Geomatik des Staats Freiburg abgerufen werden können.

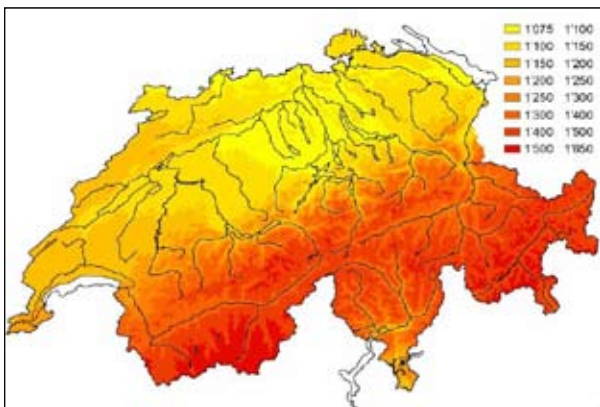
2.2 Solare und architektonische Eigenschaften

Die solaren Eigenschaften werden wesentlich durch die folgenden Faktoren bestimmt:

- Solareinstrahlung auf den Flächen
- Elemente, die selber Gebäudeflächen beanspruchen (= beeinträchtigende Elemente) und/oder die Sonne verdecken (= Verschattung)

Sonneneinstrahlung

Die Sonneneinstrahlung fällt in allen Siedlungsgebieten des Kantons Freiburg ähnlich hoch aus.



Die Solarenergie (in kWh pro m² und Jahr) verteilt sich recht gleichmässig über die stark besiedelten Gebiete in der Schweiz und im Kanton Freiburg. Quelle: Daten und Plot Meteororm, Design NET AG

In der Stadt Freiburg beträgt die maximale Sonneneinstrahlung 1250 kWh pro Jahr und Quadratmeter; dieser Wert wird auf einer nach Süden ausgerichteten, ungefähr 30° geneigten Fläche erreicht. Eine horizontale Fläche bekommt eine Sonneneinstrahlung von 1144 kWh pro Jahr und Quadratmeter und erzielt somit 91% des Maximalwerts.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Werte der Sonneneinstrahlung auf einer Fläche und des daraus resultierenden Stromertrags nicht unbedingt proportional verlaufen. In der Tat kann festgestellt werden, dass bei zunehmender Abweichung von der idealen Ausrichtung ein immer kleinerer Teil der Sonnenstrahlung tatsächlich durch die Moduloberfläche dringt. Dennoch ist die Sonneneinstrahlung ein sehr guter Indikator. Es wäre schwierig, die Strahlung durch mehrere Parameter zu ersetzen, die wiederum ihrerseits kaum das Verhalten aller Oberflächen und Technologien der Photovoltaik und Solarthermie genau erfassen können.

Eignung und Reduktionsfaktoren

Mehrere Faktoren können die Nutzung der Sonnenenergie auf Dachflächen beeinträchtigen. Die ungenügende Sonneneinstrahlung aufgrund der schlechten Ausrichtung bildet den ersten Reduktionsfaktor. Weitere Reduktionsfaktoren betreffen Elemente (z. B. Gauben, Velux, Schornsteine, Dachterrassen usw.), die die Dachfläche selber beanspruchen und/oder verschatten, aber auch Gebäude und Bäume in der unmittelbaren Nachbarschaft, die unerwünschten Schattenwurf verursachen.



Die Gebäude auf dem Erlenhof in Galmiz und die verschiedenen Reduktionsfaktoren, die die solar-architektonische Eignung der Gebäude beeinträchtigen. Quelle: Orthophoto 2008–2009, © Staat Freiburg, bearbeitetes Foto

Die Gebäude des Erlenhofs in Galmiz zeigen auf anschauliche Weise die verschiedenen möglichen Reduktionsfaktoren auf. Das Gebäude A besitzt eine «schlecht ausgerichtete» Dachfläche, da sie nach Nordnordost geneigt ist. Die Einstrahlung ist hier vergleichsweise schwach, sodass diese Fläche nicht als nutzbare Fläche betrachtet wird. Der Reduktionsfaktor «schlechte Ausrichtung» betrifft praktisch alle Gebäude auf dem Erlenhof. Das Gebäude B weist eine komplexe Dachkonfiguration mit zahlreichen Elementen (Reduktionsfaktor «störende/hinderliche Aufbauten») auf, die die solare Nutzung beeinträchtigen. Das Gebäude C wird durch

das Silogebäude im Süden verschattet (Reduktionsfaktor «Verschattung durch Nachbargebäude»). Das Gebäude D wird durch Bäume im Süden verschattet (Reduktionsfaktor «Verschattung durch Vegetation»). Schliesslich fällt der Reduktionsfaktor «störende/hinderliche Aufbauten» ebenfalls beim Gebäude E ins Gewicht, hier wegen der unterschiedlichen Höhen von Hauptgebäude und Anbau. Es bleibt darauf hinzuweisen, dass sämtliche Gebäude des Erlenhofs grundsätzlich nutzbare Potenzialflächen verzeichnen – besonders viel auf dem Gebäude A, besonders wenig auf dem Gebäude B.

Einstufungen der (Potenzialflächen der) Gebäude

Die Gebäude werden nach den solaren Installations- und Integrationsmöglichkeiten eingestuft. Je komplexer die Dachgestaltung und je mehr beeinträchtigende Elemente vorhanden sind, desto schwieriger ist die Installation. Die Skala reicht von 1 bis 5, wobei 1 für sehr einfach und sehr gut und 5 für sehr schlecht und schwierig/unmöglich steht. Die Eignungsstufe 1 bezeichnet demnach eine sehr simple Dachgestaltung ohne störende Elemente.

Einstufungen der (nutzbaren Flächen der) Gebäude in Abhängigkeit von der Dachkonfiguration		
Solararchitektonische Eignungsstufe	Integrations-/Installationsmöglichkeiten	Beschreibung des Dachs (Konfiguration, nutzbare Flächen, beeinträchtigende Elemente)
1	sehr einfach/ sehr gut	Sehr einfache Konfiguration mit grösseren zusammenhängenden nutzbaren Dachflächen ohne nennenswerte Beeinträchtigung
2	eher einfach/ eher gut	Eher einfache Konfiguration mit nutzbaren Dachflächen von interessanter Grösse und mit geringer Beeinträchtigung
3	mittel	Mittelmässige Konfiguration mit unterschiedlich grossen nutzbaren Dachflächen und mit einigen beeinträchtigenden Elementen
4	eher schwierig	Eher schwierige Konfiguration mit kleinen (Teil)Flächen und mit wesentlicher Beeinträchtigung
5	sehr schwierig bis unmöglich	Sehr schwierige Konfiguration mit hoher Beeinträchtigung, die die Installation von Solaranlagen verhindert

2.3 Photovoltaische Aspekte

Technologie

Photovoltaik ist die direkte Umwandlung von Licht in einer Solarzelle in elektrische Energie.

Solarzellen bestehen aus mehreren dünnen Schichten aus Halbleitermaterialien. Silizium bildet heute zu 89% das Basismaterial für die Solarzellenherstellung. Silizium bietet den Vorteil, als zweithäufigstes Element der Erdkruste in ausreichendem Mass verfügbar und umweltverträglich zu sein. Es gibt eine breite Palette an Solarzelltechnologien. Werden mehrere Solarzellen miteinander zu grösseren Einheiten verschaltet und witterungsbeständig verpackt, entsteht ein Solarmodul. Glas und Kunststofffolien dienen als Verpackungsmaterial: auf der Vorderseite meist Glas, auf der Rückseite häufig Kunststofffolien. Eine Solarstromanlage kann aus beliebig vielen Solarzellen und -modulen zusammengesetzt werden.

In der Anwendung werden grob zwei Arten von Solarstromanlagen unterschieden:

- Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen können den Strom ins öffentliche Netz einspeisen. Gebäudeintegrierte Anlagen sind typischerweise netzgekoppelte Systeme, wodurch das Gebäude an Multifunktionalität gewinnt. Die Photovoltaikmodule können mit klassischen Baumaterialien kombiniert werden oder diese ersetzen.
- Netzferne Photovoltaikanlagen (sogenannte Inselanlagen) speichern den Solarstrom z. B. in Batterien/Akkumulatoren. Photovoltaische Inselanlagen bieten einfache, zuverlässige und häufig kosteneffiziente Lösungen für Parkuhren, Telefonkabinen, Strassenbeleuchtung, Informationstafeln, Verkehrssignalisation und weitere Infrastruktureinrichtungen. Integrierte Komponenten erzeugen, speichern und liefern den betriebsnotwendigen Solarstrom. Diese Inselssysteme zeichnen sich durch geringen Wartungsaufwand aus und können bei Bedarf auch mobil eingesetzt werden.

Im Rahmen dieser Studie wird das Potenzial der netzgekoppelten Photovoltaikanlagen betrachtet.

Energie

Der Ertrag des photovoltaischen Systems hängt von mehreren technischen und solaren Faktoren ab. Zur Berechnung der auf den ermittelten Potenzialflächen möglichen Solarstromproduktion werden für eine Anlage mit einer Leistung von 1 kW und Photovoltaikmodulen mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 15% folgende Werte (Flächenbedarf) veranschlagt:

- 7,5 m² nutzbare Fläche auf einem Schrägdach
- 14 m² nutzbare Fläche auf einem Flachdach

Die Wirkungsgrade der gegenwärtig meist verkauften Module variieren zwischen 12% und 18%, sodass der Flächenbedarf für die Installation eines 1-kW-Systems um ± 20% von den oben festgelegten Werten abweichen kann. Werden Module der Dünnschichttechnologie eingesetzt, dann steigt der Flächenbedarf noch stärker an, da der Wirkungsgrad unter 10% fallen kann.

In einem zweiten Schritt kann das Stromproduktionspotenzial auf der Grundlage der auf den Potenzialflächen installierbaren Leistung und der Ausrichtung der Module berechnet werden. Folgende gemittelte Energieertragskennzahlen können hierbei verwendet werden:

- 970 kWh pro kW für Anlagen auf Dachflächen mit Südausrichtung (mit Abweichung von Süden bis maximal 30°)
- 910 kWh pro kW für Anlagen auf Dachflächen mit südwestlicher oder südöstlicher Ausrichtung (Abweichung von Süden zwischen 30 und 60°) und auf horizontalen Dachflächen
- 830 kWh pro kW für Anlagen auf Dachflächen mit westlicher oder östlicher Ausrichtung (Abweichung von Süden zwischen 60 und 90°)

Das Stromproduktionspotenzial auf horizontalen Flächen kann je nach erfolgter Montageweise (Neigungswinkel und Ausrichtung der Photovoltaikmodule) um ± 6% vom oben erwähnten Mittelwert von 910 kWh pro kW abweichen.

Kosten

Die Investitionskosten für photovoltaische Solarsysteme hängen vom Anlagentyp ab, namentlich von der Anlagengröße und der Art der Gebäudeintegration. Ganz allgemein kann festgestellt werden, dass die Modulpreise seit 2007 um rund 30% gesunken sind. Dieser Trend zur Preissenkung von rund 10% pro Jahr dürfte in den kommenden Jahren weiter anhalten – dies dank einer weltweit dynamischen Industrialisierung des Sektors.

Die approximativen Investitionskosten und die Stromproduktionskosten (Einspeisevergütungsansätze) sind in den folgenden Tabellen aufgeführt:

Approximative Investitionskosten (CHF/kW) nach Leistungsklassen und solar-architektonischen Eignungsstufen				
Solar-architektonische Eignungsstufe/Leistung	Eignungsstufe 1	Eignungsstufe 2	Eignungsstufe 3	Eignungsstufe 4
> 100 kW	5400	5900	6600	7700
30–100 kW	5900	6600	7300	8500
10–30 kW	6600	7300	8100	9400
3–10 kW	7300	8100	9000	10 400
1–3 kW	8100	9000	10 100	11 500

Einspeisevergütungen für Solarstrom in Schweizer Rappen für 2010 (Quelle: OFEN)				
Leistung/Anlagenkategorie	< 10 kW	10–30 kW	30–100 kW	> 100 kW
Integriert	73,8	60,7	54,9	50,8
Angebaut	61,5	53,3	50,8	49,2
Frei stehend	53,3	44,3	41,8	40,2

2.4 Solar-thermische Aspekte

Technologie

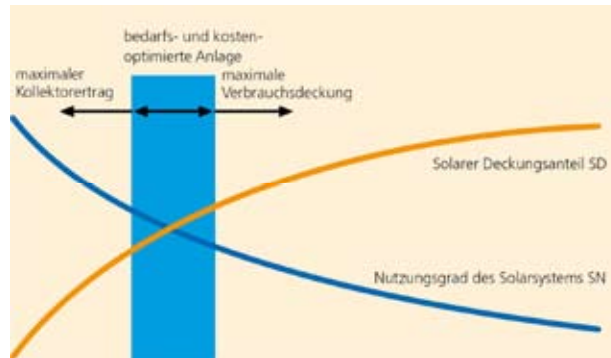
Sonnenkollektoranlagen sind eine umweltschonende Möglichkeit zur Erwärmung von Brauchwarmwasser. Sie lassen sich auch als Unterstützung von Heizungsanlagen (Raumwärme) einsetzen. Sonnenkollektoren sind mit jeder andern Art der Wärmeerzeugung kombinierbar, die in sonnenarmen Zeiten zum Zuge kommt (Holzfeuerung, Wärmepumpe, Öl- oder Gaskessel). Die zwei Hauptanwendungsgebiete sind:

- Solare Wassererwärmung: Die solare Erwärmung von Brauchwarmwasser ist unabhängig vom Gebäudezustand realisierbar. Im Sommer ist zur Bereitstellung von warmem Wasser meist keine zusätzliche Einrichtung notwendig.
In der kalten Jahreszeit dagegen sollte die solare Wassererwärmung durch eine zusätzliche Wärmequelle ergänzt werden. Die zusätzliche Wärmequelle ist direkt im Solarsystem integriert oder es besteht eine Verbindung zum Wärmeerzeuger.
- Solare Wassererwärmung und Heizungsunterstützung: Die Unterstützung der Heizung mithilfe einer Solaranlage macht vor allem bei gut gedämmten Bauten Sinn.

Energie

Die Installation einer solar-thermischen Anlage muss nach Bedarf und Kosten optimiert werden. Je höher der solare Deckungsgrad steigt, desto weniger wirtschaftlich

kann die Rentabilität des Solarsystems ausfallen. Wohl erzielen grössere Anlagen ökonomische Skaleneffekte, diese finanziellen Einsparungen vermögen aber nicht den Minderertrag des Systems zu kompensieren (s. unten folgende Abbildung).



Quelle: Energie Schweiz (2007)

Die effektiv nutzbare Solarwärme hängt stark von der Auslegung des Solarsystems ab und kann zwischen 200 und 650 kWh jährlich pro m² Kollektornutzfläche betragen.

Der sogenannte solarthermische Potenzialindex widerspiegelt das Verhältnis zwischen der gewichteten Kollektorfläche und der Energiebezugsfläche (EBF) eines Gebäudes und erlaubt eine effiziente Abschätzung des solaren Deckungsgrads. Konkret wird hierbei die unterschiedene nutzbare Dachfläche in optimal ausgerichtet (südliche Ausrichtung, Neigung von etwa 45°) Kollektornutzfläche umgewandelt (gewichtet).

Angewendete Gewichtungsfaktoren zur Berechnung der Kollektornutzfläche für das Referenzsystem 104–100l			
Ausrichtung/Neigung	Sektor Süd	Sektor SW/SO	Sektor W/O
Steil geneigt	1,1	1,3	1,7
Mittelmässig geneigt	1,0	1,3	1,6
Wenig geneigt	1,6	1,7	2
Horizontal	2,4		

Die solar-thermischen Erträge werden für vier Referenzvarianten gerechnet, die einerseits zwei Gebäudeeffizienzstandards (80 kWh und 30 kWh pro m² Energiebezugsfläche) und andererseits zwei Speichervermögen (100 Liter pro m² Energiebezugsfläche und optimaler Speicher) berücksichtigen.

Tabelle: Referenzsysteme nach Wärmebedarf und Speichergrosse		
Referenzvariante	Wärmeenergiebedarf pro m ² Energiebezugsfläche	Speicher pro m ² Kollektorfläche
104–100l	104 kWh (80 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	100 Liter
54–100l	54 kWh (30 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	100 Liter
104–opt	104 kWh (80 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	Optimaler Speicher
54–opt	54 kWh (30 kWh für Raumwärme und 24 kWh für Warmwasser)	Optimaler Speicher

Wenngleich die solar-thermischen Erträge aus rein technischer Sicht bereits hohe solare Deckungsgrade bei der gesamten Wärmeversorgung (Warmwasser und Raumwärme) erreichen können, so gibt es in der Schweiz bis heute – primär aus Gründen der Wirtschaftlichkeit – doch eine eher geringe Anzahl solar-thermischer Installationen, die einen solaren Deckungsgrad von über 35% aufweisen.

Angesichts der grossen Vielfalt an solar-thermischen Systemen gibt es eine beachtliche Bandbreite bei den Investitionskosten und erst recht bei den Gestehungskosten, die bei Letzterem um einen Faktor drei und mehr schwanken können. Die Preise der solar-thermischen Systemen fielen nur geringfügig in den letzten Jahren – wenn überhaupt. Einerseits weisen mehrere Hauptkomponenten bereits eine hohe technologische Reife aus; andererseits fluktuieren die Preise für Rohstoffe je nach (tendenziell steigender) Nachfrage, sodass dadurch Produktivitätsfortschritte nicht wirklich kostenwirksam werden können. Allgemein steigt die Konkurrenzfähigkeit der Solarwärme mit steigenden Preisen bei anderen Energieträgern (Erdgas, Erdöl, Holz usw.) und mit günstigeren Rahmenbedingungen für die Nutzung umweltfreundlicher Technologien.

2.5 Wahl der Gebäude

Bei «öffentlichen Gebäuden» denkt man an Bauten wie Verwaltungsgebäude, Schulen, Polizeiposten usw. Bei den 711 Objekten, die in der Datenbank des Kantons Freiburg verzeichnet sind, gibt es jedoch zahlreiche Bauten mit einem geringen oder gar keinem Solarpotenzial. Es sind dies beispielsweise unterirdische Gebäude, Forsthütten (häufig stark verschattet und/oder weit entfernt vom Stromnetz), abgeschiedene Alphütten, Velounterstände, Garagen und Einstellhallen (ebenfalls häufig verschattet), Bienenhäuschen, Hühnerställe, Türme und Stadtmauern usw. Keiner genaueren Analyse unterzogen wurden ebenfalls kleinere Objekte mit einer Gebäudegrundfläche von weniger als 80 m². Unter diesen «kleinen Objekten» finden sich hauptsächlich Bauten, wie sie oben bereits aufgezählt worden sind. Schliesslich befanden sich noch einzelne Objekte im Bau (z. B. Kollegium Gambach, Lehrwerkstätte Freiburg). Diese erste Sichtung der Gebäude zeigt, dass 349 Objekte – also fast die Hälfte der Objekte aus dem staatseigenen Gebäudepark – aufgrund ihrer Eigenschaften bzw. ihres Standorts nur ein mässiges oder gar kein Solarpotenzial aufweisen.

Die Studienresultate bauen also letztlich auf 362 Gebäuden auf, die einer detaillierteren Analyse unterzogen wurden.

3. DIE PHOTOVOLTAISCHEN POTENZIALE

Das Kapitel präsentiert die photovoltaischen Potenziale auf den untersuchten Objekten nach folgenden Gesichtspunkten:

- Flächenpotenzial (nutzbare Dachflächen)
- Leistungspotenzial
- Stromproduktionspotenzial
- Potenzial auf geschützten/nicht geschützten (nicht klassifizierten) Gebäuden

3.1 Flächenpotenzial (nutzbare Dachflächen)

Das Flächenpotenzial setzt sich aus geeigneten Dachflächen mit hoher Solareinstrahlung zusammen. Das gesamte Flächenpotenzial auf den Gebäuden des Staats Freiburg beläuft sich auf 70 900 m².

Tabelle: Aggregierte Potenzialflächen für die photovoltaische Nutzung in Quadratmetern (m²) nach Eignungsstufen und Dachausrichtung

Anzahl Objekte	Solar-architektonische Eignungsstufe	Horizontal	Sektor Süd	Sektor SW/SO	Sektor W/O	Gesamt
14	1	11 226	0	487	0	11 713
62	2	15 502	4323	3475	1158	24 457
155	3	14 467	6402	4132	4120	29 122
108	4	259	2119	2028	1202	5608
23	5	0	0	0	0	0
362	alle	41 454	12 844	10 122	6480	70 900

Die gesamte Dachfläche beträgt 290 768 m². Wegen der verschiedenen Reduktionsfaktoren sind 75% der Dachflächen nicht für photovoltaische Systeme brauchbar. Die Anteile der Reduktionsfaktoren in Prozenten sind wie folgt:

- störende/beeinträchtigende Aufbauten: 54%
- schlechte Ausrichtung: 39%
- Verschattung durch Nebengebäude: 2%
- Verschattung durch Vegetation: 4%

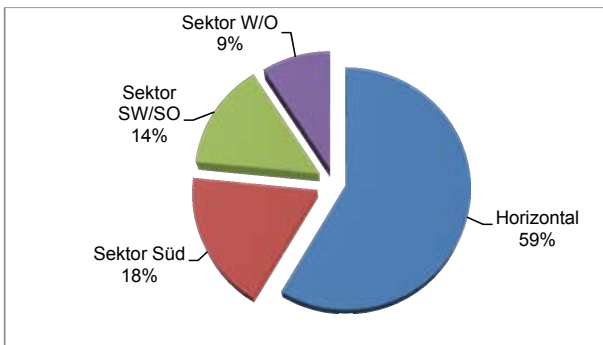
Bezogen auf die Gebäudegrundfläche der 362 Objekte (259 447 m²) beträgt der solare Potenzialindex 27,3%. Das heisst, dass pro 100 m² Gebäudegrundfläche 27,3 m² nutzbare Dachfläche ausgemacht werden können.

Die solaren Potenzialindizes variieren je nach solar-architektonischer Eignungsstufe zwischen 0% und 68%.

Tabelle: Potenzialindizes nach solar-architektonischer Eignungsstufe

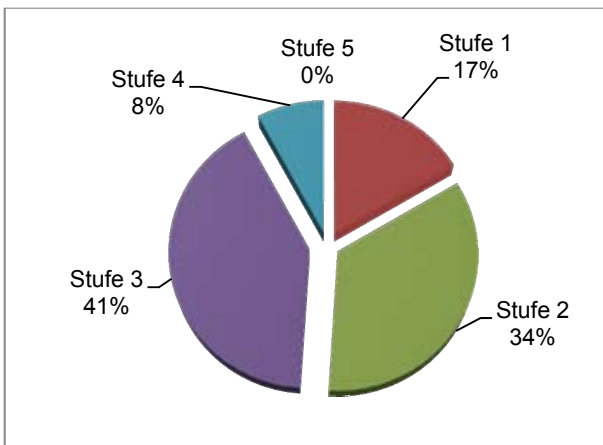
Anzahl Objekte	Solar-architektonische Eignungsstufe	Solarer Potenzialindex
14	1	68,0%
62	2	44,3%
155	3	23,8%
108	4	9,5%
23	5	0,0%
362	alle	27,3%

Ein grosser Teil (59% oder 41 454 m²) des Flächenpotenzials befindet sich auf Flachdächern (horizontale Flächen). 18% der Potenzialflächen (12 844 m²) sind südlich ausgerichtet.



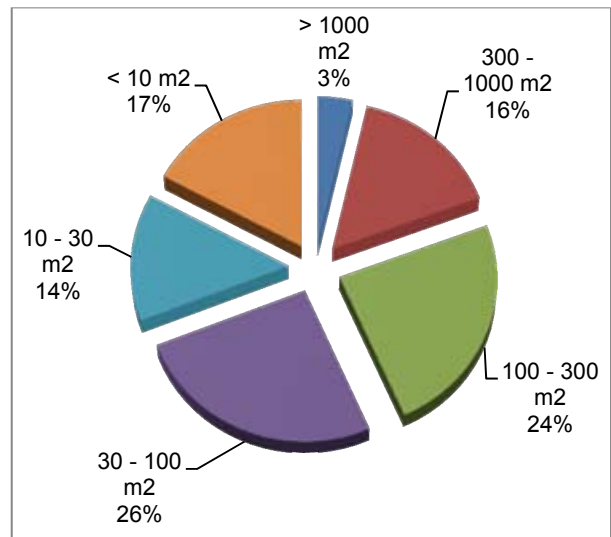
Verteilung der Potenzialflächen nach Dachausrichtung

Was die solar-architektonische Eignung anbelangt, so können 17% der Potenzialflächen der Eignungsstufe 1 (sehr einfache Installation und sehr gute Integration des Solarsystems möglich) zugeordnet werden. In den Eignungsstufen 2 resp. 3 (Installation einfach resp. durchschnittlich gut durchführbar) findet sich der Haupttharst der Potenzialflächen mit Anteilen von 34 resp. 41%.



Verteilung der Potenzialflächen nach solar-architektonischen Eignungsstufen

Unter den 362 Gebäuden weisen 13 Objekte ein Flächenpotenzial von über 1000 m² aus. 57 Objekte (oder 16% der Gebäude) verfügen über ein Flächenpotenzial von 300 bis 1000 m². Bei 87 Objekten (oder 24% der Gebäude) beträgt die Potenzialfläche zwischen 100 und 300 m². Geringe oder gar keine Potenzialflächen gibt es auf 31% der Objekte.



Verteilung der Gebäude nach Flächenkategorien

3.2 Leistungspotenzial

Das Leistungspotenzial gibt an, welche photovoltaische Leistung auf den Potenzialflächen installiert werden kann.

Das gesamte Leistungspotenzial beträgt 6,89 MW. Photovoltaische Systeme mit einer Leistung von gegen 3 MW können auf Flachdächern installiert werden. Auf südlich ausgerichteten Schrägdachflächen können weitere 1,7 MW realisiert werden.

Die Potenzialflächen der solar-architektonischen Eignungsstufen 1 und 2 bieten grundsätzlich Platz für photovoltaische Anlagen mit einer Gesamtleistung von 3,17 MW.

Tabelle: Aggregiertes photovoltaisches Leistungspotenzial in Kilowatt (kW) nach Eignungsstufen und Dachausrichtung

Anzahl Objekte	Solar-architektonische Eignungsstufe	Horizontal (Flachdächer)	Sektor Süd	Sektor SW/SO	Sektor W/O	Gesamt
14	1	658	0	65	0	723
62	2	1251	576	463	154	2445
155	3	1033	854	551	549	2987
108	4	19	283	270	160	732
23	5	0	0	0	0	0
362	alle	2961	1713	1350	864	6887

8 Gebäude verfügen über ein Leistungspotenzial von über 100 kW. 67 Objekte (oder 18% der Gebäude) weisen ein Leistungspotenzial von zwischen 30 und 100 kW auf. 96 Objekte (oder 27% der Gebäude) können photovoltaische Anlagen mit einer Leistung von 10 bis 30 kW aufnehmen.

Verteilung der Gebäude nach Leistungskategorien	
Leistungskategorie	Anzahl Objekte
> 100 kW	8
30–100 kW	67
10–30 kW	96
3–10 kW	86
1–3 kW	50
< 1 kW	55
Alle Objekte	362

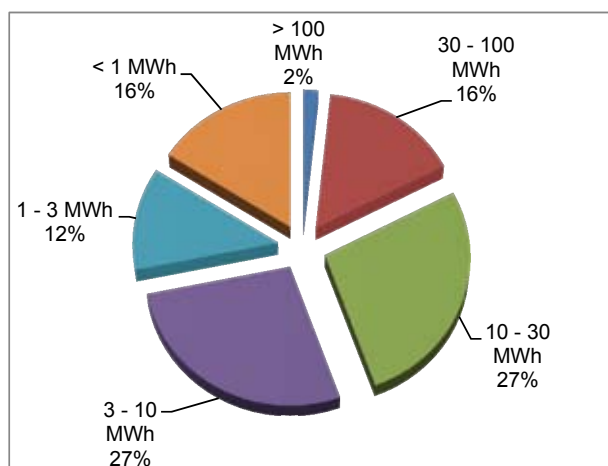
3.3 Stromproduktionspotenzial

Das Stromproduktionspotenzial berechnet sich aus der installierbaren Leistung und der gemittelten Solareinstrahlung auf den Potenzialflächen.

Das Produktionspotenzial für photovoltaischen Solarstrom beträgt 6,3 GWh pro Jahr. Davon können 2,7 GWh auf horizontalen Potenzialflächen (Flachdächern) und 1,7 GWh auf südlich ausgerichteten Dachflächen generiert werden.

Tabelle: Aggregiertes photovoltaisches Stromproduktionspotenzial in Megawattstunden (MWh) pro Jahr nach Eignungsstufen und Dachausrichtung						
Anzahl Objekte	Solar-architektonische Eignungsstufe	Horizontal (Flachdächer)	Sektor Süd	Sektor SW/SO	Sektor W/O	Gesamt
14	1	599	0	59	0	723
62	2	1138	559	422	128	2247
155	3	940	828	501	456	2726
108	4	17	274	246	133	670
23	5	0	0	0	0	0
362	alle	2694	1661	1228	717	6301

6 Gebäude weisen ein Solarstromproduktionspotenzial von über 100 MWh pro Jahr aus. 57 Gebäude (oder 16% der Gebäude) können zwischen 30 und 100 MWh Solarstrom pro Jahr generieren. 98 Objekte (oder 27% der Gebäude) verfügen über ein Potenzial, das von 10 bis 30 MWh pro Jahr reicht.



Verteilung der Gebäude nach Solarstromproduktionspotenzialklassen (MWh pro Jahr)

Verteilung der Gebäude nach Solarstromproduktionspotenzialklassen (MWh pro Jahr)	
Stromproduktionskategorie	Anzahl Objekte
> 100 kW	6
30–100 kW	57
10–30 kW	98
3–10 kW	99
1–3 kW	44
< 1 kW	58
Alle Objekte	362

3.4 Potenzial auf geschützten und inventarisierten Gebäuden

Der Staat Freiburg ist Eigentümer von zahlreichen geschützten und inventarisierten Gebäuden. Unter den 362 untersuchten Objekten trifft dies konkret bei 133 Gebäuden, das heisst bei 37% der Objekte, zu. Dem ist anzufügen, dass bei geschützten und inventarisierten Gebäuden Artikel 18a des Bundesgesetzes über die Raumplanung anwendbar ist, der Folgendes besagt: «In Bau- und Landwirtschaftszonen sind sorgfältig in Dach- und Fassadenflächen integrierte Solaranlagen zu bewilligen, sofern keine Kultur- und Naturdenkmäler von kantonaler oder nationaler Bedeutung beeinträchtigt werden.»

Des Weiteren ist der besonderen Schutzwürdigkeit gemäss Bundesinventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz (ISOS) Rechnung zu tragen.

Bezogen auf die Gebäudegrundfläche ist der Anteil des «geschützten» Gebäudeparks des Staats Freiburg noch bedeutsamer, denn die geschützten und inventarisierten Gebäude beanspruchen eine Grundfläche von 115 499 m², das heisst 45% der gesamten Gebäudegrundfläche. Im Durchschnitt sind also die geschützten und inventarisierten Gebäude mit einer mittleren Grundfläche von 868 m² grösser als die nicht-klassifizierte Objekte, die ihrerseits eine mittlere Gebäudegrundfläche von 629 m² ausweisen.

Der solare Potenzialindex der geschützten und inventarisierten Gebäude ist hingegen deutlich unterdurchschnittlich. Dieser beträgt für alle Gebäude 27,3%, für geschützte und inventarisierte Gebäude lediglich 20,3% und für nicht-klassifizierte Gebäude 33,0%.

Bei näherer Betrachtung der geschützten und inventarisierten Gebäude hinsichtlich ihrer solar-architektonischen Eignung lässt sich feststellen, dass diese Gebäude höhere Anteile bei den Eignungsstufen 3 und 4 aufweisen. Die geschützten und inventarisierten Gebäude machen rund 41% der Potenzialfläche der Stufe 3 (mittlere Eignung) und 59% der Stufe 4 (geringere Eignung) aus. Ihre Anteile fallen hingegen bei den Eignungsstufen 1 und 2 deutlich tiefer aus. Hier tragen sie 34% zu den Potenzialflächen der Eignungsstufe 2 (eher einfache Integration) bei und sind auf der Stufe 1 (sehr einfache Integration) gar nicht vertreten.

Mit anderen Worten, die nicht-klassifizierte Gebäude tendieren zu einfacheren Dachkonfigurationen und haben deshalb im Vergleich zu geschützten Gebäuden ein interessanteres Solarpotenzial. Dieser Sachverhalt darf aber nicht verallgemeinert werden, denn das Potenzial auf geschützten und inventarisierten Gebäuden ist nicht vernachlässigbar, stellen diese doch ein Drittel des Flächen-

potenzials dar. In Bezug auf das Leistungs- und Solarstromproduktionspotenzial beträgt ihr Anteil gar 35%.

4. DIE SOLAR-THERMISCHEN POTENZIALE

Das solar-thermische Potenzial kann auf der Grundlage der Referenzsysteme (s. Kapitel 2.4) für den gesamten Gebäudepark abgeschätzt werden. Rund zwei Drittel der 362 Gebäude sind hinsichtlich ihrer solar-thermischen Potenziale untersucht worden. Das verbleibende Drittel der 362 Gebäude wurde nicht näher betrachtet, da es sich um Objekte handelt, die kaum oder gar nicht beheizt werden (z. B. Schuppen für Maschinen oder gewisse Einstellhallen).

Die Untersuchungen sind zuerst für die 102 Objekte (Wohnungen und Unterkünfte) mit einem bedeutsamen Warmwasserverbrauch durchgeführt worden, dann für alle Gebäude mit beheizten Räumen wie z. B. Verwaltungs-, Kultur- oder Schulgebäude.

Die weiter unten präsentierten Resultate sind als Richtwerte zu verstehen, da gewisse wichtige Elemente (wie z. B. die Integration der Solaranlage ins Heizsystem) im Rahmen dieser Studie nicht analysiert werden konnten. Ziel der Studie war es, vorerst auf effiziente Weise die interessantesten Objekte zu identifizieren, die eine nähere Betrachtung verdienen.

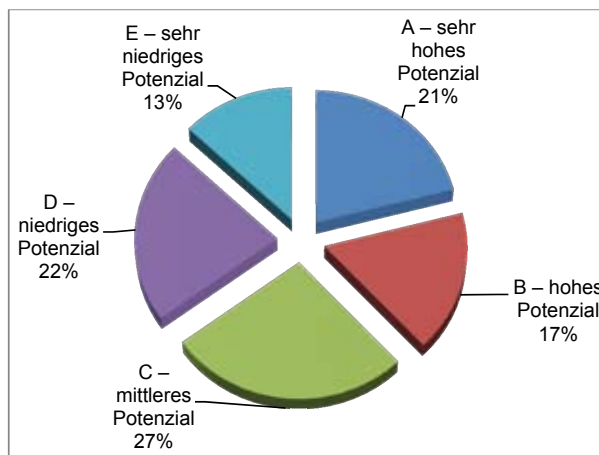
Die ersten Untersuchungen zeigen, dass aus technischer Sicht die solar-thermischen Potenziale beträchtlich sind. So lässt sich feststellen, dass bereits bei heutigen Standardgebäuden («8-Liter-Gebäude») mit einem herkömmlichen Solarsystem hohe solare Deckungsgrade erreicht werden können. Diese solaren Deckungsgrade fallen bei Gebäuden mit progressiveren Energiestandards («3-Liter-Gebäude») und Solarsystemen mit Saisonspeicher noch höher aus.

Die Marktentwicklung für solar-thermische Systeme zur Warmwasserproduktion ist positiv verlaufen; sie zeigt auch, dass immer mehr solar-thermische Systeme zur Heizunterstützung installiert werden. Im Übrigen sieht das Energiereglement (EnR) des Kantons Freiburg seit dem 1. März 2010 Folgendes vor: «Beiträge an thermische Solaranlagen können gewährt werden, wenn die Anlage an das bestehende Heizsystem angeschlossen ist, falls sie zur Erzeugung zusätzlicher Wärme genutzt wird.»

4.1 Das solar-thermische Potenzial bei Objekten mit hohem Brauchwasserbedarf

Die wirtschaftlich interessantesten Anwendungen im Gebäudepark des Staats Freiburg ergeben sich häufig bei Objekten mit einem bedeutsamen Warmwasserverbrauch, wie z. B. Wohnungen und Heimen.

Das solar-thermische Potenzial (für Brauchwasser und Heizunterstützung) wurde bei 102 Objekten mit einem mehr oder weniger regelmässigen Warmwasserbedarf untersucht.



Verteilung der 102 Gebäude mit hohem Brauchwasserbedarf nach solar-thermischen Potenzialklassen

21 Gebäude haben ein sehr hohes Potenzial. Sie verfügen mit anderen Worten über mehr als 16 m² gewichtete Kollektornutzfläche pro 100 m² Energiebezugsfläche. Der solare Deckungsgrad könnte mit einem herkömmlichen Solarsystem und bei einem üblichen Energiestandard («8-Liter-Gebäude») bereits 50% erreichen.

17 Gebäude weisen ein grosses Potenzial auf. Sie verfügen mit anderen Worten über 8 bis 16 m² gewichtete Kollektornutzfläche pro 100 m² Energiebezugsfläche. Der solare Deckungsgrad könnte mit einem herkömmlichen System ein Drittel erreichen.

27 Gebäude haben ein mittleres Potenzial. Das heisst, sie verfügen über 4 bis 8 m² gewichtete Kollektornutzfläche pro 100 m² Energiebezugsfläche. Der solare Deckungsgrad könnte mit einem herkömmlichen System ein Viertel erreichen.

22 Gebäude weisen ein kleines Potenzial auf. Das heisst, sie verfügen über 2 bis 4 m² gewichtete Kollektornutzfläche pro 100 m² Energiebezugsfläche. Der solare Deckungsgrad könnte mit einem herkömmlichen System ein Achtel erreichen.

Nur 13 Gebäude haben ein zu geringes Potenzial, um irgendeinen technisch sinnvollen solaren Beitrag zu ermöglichen.

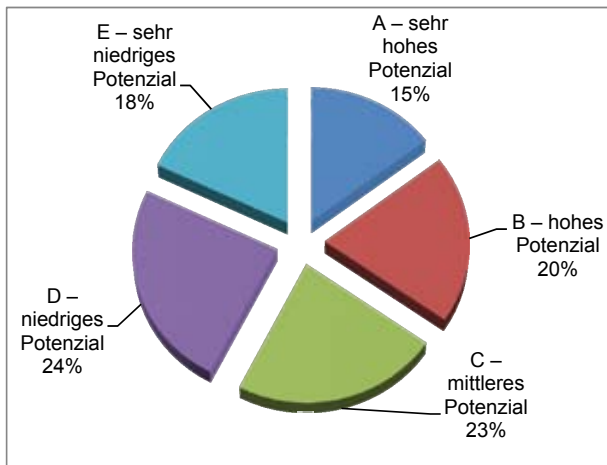
Insgesamt könnten solar-thermische Anlagen rund ein Sechstel des Wärmeenergiebedarfs der 102 untersuchten Gebäude decken – dies mit einem herkömmlichen Solarsystem und Energiestandard («8-Liter-Gebäude»). Mittels progressiver Solarsysteme (Saisonspeicher) und Minergie P Standard für die Gebäude steigt der solare Deckungsgrad auf fast ein Drittel.

Tabelle: Verteilung der Gebäude (102 Objekte mit hohem Brauchwasserbedarf) nach solar-thermischen Potenzialklassen, gewichteter Kollektornutzfläche und berechneter Energiebezugsfläche

Potenzialklasse	Anzahl Objekte	Gewichtete Kollektornutzfläche (in m ²)	Berechnete Energiebezugsfläche (in m ²)
A – sehr hoch	21	1775	8226
B – hoch	17	2464	23 301
C – mittel	27	3941	88 993
D – niedrig	22	1164	49 773
E – sehr niedrig	13	615	72 524
alle	102	9959	242 817

4.2 Das solar-thermische Potenzial bei beheizten Gebäuden

Das solar-thermische Potenzial kann auf der Grundlage der Referenzsysteme und Standardwerte (s. Kapitel 2.4) für den gesamten Gebäudepark abgeschätzt werden. Dieser Ansatz erlaubt es, unter Berücksichtigung der nutzbaren Dachflächen die Gebäude nach ihrem theoretischen Potenzial einzuordnen.



Verteilung der 245 beheizten Gebäude nach solar-thermischen Potenzialklassen.

36 Gebäude (oder 15% der untersuchten Gebäude) haben ein sehr hohes Potenzial: Sie verfügen über mehr als 16 m² gewichtete Kollektornutzfläche pro 100 m² Energiebezugsfläche. Der solare Deckungsgrad könnte mit einem herkömmlichen Solarsystem und bei einem üblichen Energiestandard («8-Liter-Gebäude») bereits 50% erreichen.

49 Gebäude (oder 20% der untersuchten Gebäude) weisen ein hohes Potenzial auf: Sie verfügen über 8 bis 16 m² gewichtete Kollektornutzfläche pro 100 m² Energiebezugsfläche. Der solare Deckungsgrad könnte mit einem herkömmlichen System ein Drittel erreichen.

56 Gebäude (oder 23% der untersuchten Gebäude) haben ein mittleres Potenzial. Das heisst, sie verfügen über 4 bis 8 m² gewichtete Kollektornutzfläche pro 100 m² Energiebezugsfläche. Der solare Deckungsgrad könnte mit einem herkömmlichen System ein Viertel erreichen.

60 Gebäude (oder 24% der untersuchten Gebäude) weisen ein niedriges Potenzial auf und verfügen über 2 bis 4 m² gewichtete Kollektornutzfläche pro 100 m² Energiebezugsfläche. Der solare Deckungsgrad könnte mit einem herkömmlichen System ein Achtel erreichen.

44 Gebäude (oder 18% der untersuchten Gebäude) haben ein zu geringes Potenzial, um irgendeinen technisch sinnvollen solaren Beitrag zu ermöglichen.

Insgesamt könnten solar-thermische Anlagen rund ein Sechstel des Wärmeenergiebedarfs der 245 untersuchten Gebäude decken – dies mit einem herkömmlichen Solarsystem und Energiestandard («8-Liter-Gebäude»). Mittels progressiver Solarsysteme (Saisonspeicher) und Minergie P Standard für die Gebäude steigt der solare Deckungsgrad auf fast ein Drittel.

Tabelle: Verteilung der Gebäude (245 beheizte Objekte) nach solar-thermischen Potenzialklassen, gewichteter Kollektornutzfläche und berechneter Energiebezugsfläche

Potenzialklasse	Anzahl Objekte	Gewichtete Kollektornutzfläche (in m ²)	Berechnete Energiebezugsfläche (in m ²)
A – sehr hoch	36	6278	30 128
B – hoch	49	9992	96 188
C – mittel	56	8983	181 185
D – niedrig	60	4317	186 147
E – sehr niedrig	44	1623	186 954
alle	245	31 192	682 602

5. STRATEGISCHE OPTIONEN UND BAUSTEINE

Mit einer Analyse des Solarpotenzials lassen sich viele Elemente zusammentragen, mit denen die strategischen Optionen für eine optimale und nachhaltige Immobilienbewirtschaftung und -politik unter Berücksichtigung der Solarenergie definiert werden können.

Allgemein gilt, dass die aggregierten Ergebnisse eine breit abgestützte Entscheidungsgrundlage bieten, um eine angebrachte Strategie festzulegen und in diesem Bereich eine aktive zielführende Politik zu betreiben. Auf einer konkreteren Ebene steht mit dem Gebäudeinventar ein Werkzeug zur Verfügung, das einerseits die effiziente Priorisierung der Gebäude nach ihren solaren Potenzialen und andererseits die Festlegung zielgerichteter Massnahmen zur vermehrten Nutzung der Solarenergie erlaubt.

5.1 Optionen für die Selektion der Objekte zur Sonnenenergienutzung

Auf der Grundlage des Gebäudeinventars können die Objekte nach ihren Solarenergiepotenzialen ausgewählt werden. Dank der grossen Datenmenge ist es möglich, die «interessantesten» Gebäude anhand einer Reihe relevanter Kriterien auszuwählen: Grösse der Solaranlage, Ausrichtung der Potenzialflächen, solar-architektonische Eignungsstufe, denkmalgeschützte oder nicht-klassifizierte Gebäude, Gebäudeart, Standort der Gebäude usw. Auf diese Weise können die für eine bestimmte Fragestellung relevanten Gebäude ganz gezielt bestimmt werden.

Um die Standorte für die grundsätzlich wirtschaftlich interessantesten Photovoltaikanlagen zu identifizieren, wird nachfolgend ein möglicher Ansatz aufgezeigt, der es erlaubt, die hierfür prioritär geeigneten Gebäude auszuwählen. Die drei Schlüsselfaktoren, die die wirtschaftliche Rentabilität am meisten beeinflussen, sind die Anlagengrösse (grössere Anlagen erzielen ökonomische Skaleneffekte), die Ausrichtung der Potenzialflächen (horizontale Flächen und südlich ausgerichtete Flächen erhalten höhere Solareinstrahlungssummen) und die solar-architektonische Eignungsstufe (die Eignungsstufen geben Auskunft über die Aufwendungen, die für eine gebäudgerechte Integration der Solaranlage nötig sind).

Unter Berücksichtigung der oben erwähnten Faktoren/Kriterien kann der Gebäudepark des Staats Freiburg derart sortiert werden, dass die aus solarer Sicht interessantesten Objekte identifiziert werden können.

Tabelle: Prioritätskategorien für die Bestimmung der aus solarer Sicht interessantesten Objekte

Prioritätskategorie	Leistungspotenzial	Ausrichtung der Potenzialflächen	Solararchitektonische Eignungsstufen
I	> 30 kW	Horizontal + Sektor Süd	1+2
II	> 30 kW	Horizontal + Sektor Süd	3
III	> 30 kW	Sektoren SW/SO + W/O	1+2+3
IV	10–30 kW	Horizontal + Sektor Süd	1+2
V	10–30 kW	Horizontal + Sektor Süd	3
VI	10–30 kW	Sektoren SW/SO + W/O	1+2+3

Mit dem Gebäudeinventar können die Objekte in die weiter oben erwähnten Kategorien eingeteilt werden. Insgesamt erfüllen 32 Gebäude die Kriterien der Prioritätskategorie I und ergeben zusammen ein Leistungspotenzial von rund 2,2 MW, das heisst 32% des gesamten Potenzials. Die folgende Tabelle zeigt die Resultate im Detail.

Tabelle: Prioritätskategorien und Potenziale

Prioritätskategorie	Anzahl Objekte	Leistungspotenzial
I	32	2186 kW
II	21	1145 kW
III	20	1068 kW
IV	16	336 kW
V	39	636 kW
VI	28	451 kW
Alle (I – VI)	156	5804 kW

Mit der Einteilung nach Prioritätskategorien können diejenigen Gebäude ausgewählt und priorisiert werden, auf denen die Installation von Photovoltaikanlagen mit den niedrigsten Stromgestehungskosten möglich sein sollte. Gerade dieser Kostenaspekt ist für mögliche Investoren wie der Staat oder Dritte (zum Beispiel Akteure, die Solar-Contracting anbieten) besonders zentral.

Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass es sich hierbei um eine einfache und grobe Einteilung handelt, bei der beispielsweise nicht berücksichtigt wird, dass die wirtschaftliche Rentabilität von kleineren Anlagen wegen der kostendeckenden Einspeisevergütung (kleinere Anlagen erhalten eine höhere Vergütung) besser sein kann. Diese Einspeisevergütung stellt auf einer berechneten Rendite von 5% für das investierte Kapital ab.

Bei der Solarthermie erzielen nicht unbedingt die grössten, sondern eher die optimal dimensionierten Anlagen den besten Ertrag. Der Bedarf an Brauchwasser garantiert häufig eine vergleichsweise höhere Konkurrenzfähigkeit. Dennoch ist es angebracht, die technischen Rahmenbedingungen für die solar-thermischen Anlagen jeweils genau abzuklären, auch wenn sich eine solche Abklärung als komplex herausstellen kann. Die Integration der Solaranlage soll grundsätzlich bei jeder Dachsanierung/jedem Ersatz des Heizenergiesystems abgeklärt werden, da in einem Projekt dank der umfassenden Berücksichtigung der entsprechenden architektonischen und technischen Aspekte bedeutsame Einsparungen und Synergien genutzt werden können.

Bei der Priorisierung der Gebäude können weitere Gesichtspunkte eine Rolle spielen. Energiepolitische Vorga-

ben können auf einen maximalen Solarstromertrag abzielen, wodurch beispielsweise ein Flachdach mit möglichst vielen (und entsprechend gering geneigten) Modulen versehen werden soll. Im Rahmen eines nachhaltigen Energiekonzepts (z. B. Minergie + Wärmepumpe + Photovoltaik und/oder Solarthermie) kann die Solaranlage zu einem tragenden Element der Energieversorgung werden. Gewisse «öffentliche» Gebäudekategorien wie z. B. Schulgebäude mit hohem Publikumsverkehr können bevorzugt werden, da sie mit einer gut einsehbaren Anlage direkt oder indirekt via Anzeigetafel auf das Anliegen der nachhaltigen Energieversorgung aufmerksam machen können. Des Weiteren können die Gebäude einer umfangreichen Liegenschaft (wie Universitätscampus oder Landwirtschaftsgebäude) als solare Grossprojekte angegangen werden.

Numéro bâtiment	Localité	Catégorie d'intégration architecturale	Surfaces horizontales	Surfaces secteur sud	Surfaces secteur sud-ouest / -est	Surfaces secteur ouest / est	Surfaces utilisables (m ²)	Catégorie de priorité	Puissance totale (kW)	Production de courant solaire (kWh/a)	Surface utile de capteur pondérée	Indice solaire thermique
543	Posieux (Hauterive)	2	0	225	0	0	225	I	30	29'129	225	0.18
523	Plaffeien-Bergland	2	0	363	0	0	363	I	48	46'948	227	0.18
395	Granges-Paccot	1	2409	0	0	0	2409	I	172	156'605	1'004	0.17
392	Granges-Paccot	1	2009	0	0	0	2009	I	144	130'585	837	0.16
110	Fribourg	2	0	1006	0	0	1006	I	134	130'163	1'006	0.14
670	Givisiez	2	939	0	0	0	939	I	67	61'061	391	0.12
48	Fribourg	1	1755	0	0	0	1755	I	125	114'062	731	0.12
145	Fribourg	2	971	0	0	0	971	I	69	63'141	405	0.11
393	Granges-Paccot	1	579	0	0	0	579	I	41	37'635	241	0.11
845	Bulle	1	1299	0	0	0	1299	I	93	84'458	541	0.09
545	Posieux (Hauterive)	2	449	0	0	0	449	I	32	29'172	187	0.09
814	Posieux (Hauterive)	2	0	241	0	0	241	I	32	31'206	241	0.09
185	Fribourg	2	452	0	0	0	452	I	32	29'367	188	0.09
777	Granges-Paccot	1	856	0	0	0	856	I	61	55'645	357	0.08
678	Posieux (Hauterive)	2	860	0	0	0	860	I	61	55'913	358	0.07
149	Fribourg	2	966	0	0	0	966	I	69	62'790	403	0.07
68	Fribourg	1	1187	0	0	0	1187	I	85	77'155	495	0.07
67	Fribourg	2	769	0	0	0	769	I	55	49'985	320	0.07
186	Fribourg	2	863	0	0	0	863	I	62	56'121	360	0.07
98	Fribourg	2	784	0	0	0	784	I	56	50'944	327	0.06
940	Riaz	2	1030	0	172	0	1202	I	96	87'806	561	0.04
97	Fribourg	2	784	0	0	0	784	I	56	50'981	327	0.03
858	Bulle	2	717	0	0	0	717	I	51	46'615	299	0.02
910	Vaulruz	1	434	0	0	0	434	I	31	28'184		
683	Vaulruz	2	0	324	0	0	324	I	43	41'881		
260	Belfaux	2	0	428	0	0	428	I	57	55'334		
235	Bas-Vully	2	0	301	0	0	301	I	40	38'943		
804	Posieux (Hauterive)	2	0	247	0	0	247	I	33	31'952		
394	Granges-Paccot	2	779	0	0	0	779	I	56	50'616		
735	Vaulruz	2	0	311	0	0	311	I	41	40'224		
585	Sorens	3	0	268	0	0	268	II	36	34'641	268	0.15
52	Fribourg	3	0	223	0	0	223	II	30	28'867	139	0.14
201	Arconciel	3	0	224	0	0	224	II	30	28'974	224	0.12
513	Plaffeien-Bergland	3	0	288	0	480	768	II	102	90'368	588	0.11
540	Posieux (Hauterive)	3	0	558	0	0	558	II	74	72'126	558	0.09
875	Domdidier	3	1214	0	0	0	1214	II	87	78'941	506	0.09
43	Fribourg	3	0	289	0	0	289	II	39	37'426	181	0.08
37	Fribourg	3	0	285	0	0	285	II	38	36'910	259	0.06
1064	Fribourg	3	416	0	0	0	416	II	30	27'027	173	0.05
94	Fribourg	3	625	94	0	0	718	II	57	52'715	354	0.05
216	Bas-Vully	3	382	51	0	127	561	II	51	45'565	290	0.04

Auszug aus dem Gebäudeinventar

5.2 Optionen zwischen Stromproduktion und Flächenvermietung

Die Gemeinwesen können grob gesagt zwischen zwei Varianten wählen: Sie installieren ihre eigenen Photovoltaikanlagen auf ihre Dächer oder sie stellen ihre Dächer privaten Betreibern für Photovoltaikanlagen zur Verfügung.

Der Staat als Produzent

Dem Staat als Solarstromproduzenten bieten sich mehrere Optionen an. Er kann den Strom im Rahmen der kosten deckenden Einspeisevergütung oder auf dem Ökostrommarkt verkaufen oder auch den produzierten Strom zum Eigengebrauch nutzen.

Mit dem Stromverkauf kann der Staat bei der Immobilienbewirtschaftung zusätzliche Einkommen generieren. Als Gebäudeeigentümer ist es auch möglich, gegenüber einer maximalen Rendite eine optimale Nutzung der Flächen zu bevorzugen.

Als Eigentümer behält der Staat zudem die Kontrolle, falls das Gebäude ausgebaut, saniert oder umgebaut werden soll.

Generell muss sich der Staat die Frage stellen, welche Rolle er in diesem Kontext wahrnehmen möchte. Kann/will er Ökostromproduzent werden? Wenn ja, in welchem Rahmen?

In Bezug auf nachhaltige Energiekonzepte, die sowohl Energieeffizienz wie auch erneuerbare Energien mit einschliessen, spielen photovoltaische und solar-thermische Anlagen eine wichtige Rolle. Solaranlagen erlauben es, Wärmeenergie und Strom vor Ort und für den Eigengebrauch zu generieren.

Der Staat als Vermieter

Die Vermietung der Potenzialflächen an Drittpersonen verlangt weniger finanzielle Mittel seitens des Gebäudeeigentümers. Die Dachvermietung für eine Solaranlage erlaubt es, Engagement zugunsten der Nachhaltigkeit zu

zeigen. Ebenfalls kann je nach Anlage das unten liegende Dach vor Witterungseinflüssen geschont werden. Im Zusammenhang mit der Dachsanierung können sich bei gleichzeitiger Installation der Photovoltaikanlage eventuell finanziell und/oder technisch interessante Synergien eröffnen. Als Vorteil wird auch häufig angeführt, dass man als Eigentümer mit der einmal installierten Anlage nichts mehr zu tun haben braucht.

Demgegenüber stehen einige Nachteile. Der Dachnutzungsvertrag dauert in der Regel 20 bis 25 Jahre. Dies ist eine relativ lange Zeit, in der sich der Gebäudeeigentümer bindet und bei baulichen Anpassungen nicht mehr frei ist.

Schliesslich können im Rahmen eines Contractings verschiedene Optionen kombiniert werden. Der Contractor installiert, finanziert und betreibt die Anlage. Die produzierte Energie wird zu festgelegten Bedingungen verkauft.

5.3 Liste mit prioritären Objekten und Standorten zur Nutzung der Solarenergie

Auf der Grundlage der Untersuchungen zum Solarenergiepotenzial der staatseigenen Gebäude und der von den für die Immobilienbewirtschaftung zuständigen Personen erhaltenen Informationen können für die kurz- bis mittelfristige Solarenergienutzung unten stehende Objekte und Standorte vorgeschlagen werden.

Die wichtigsten Kriterien zur Wahl dieser Gebäude lauten wie folgt:

- Das Gebäude ist weder geschützt noch inventarisiert.
- Das Gebäude verfügt über besonders gut ausgerichtete/besonnte Potenzialflächen.
- Die Potenzialflächen erlauben die Errichtung einer Solaranlage mit einer Leistung von mindestens 10 kW.
- Die Integration der Anlage ist nicht zu kompliziert und führt aus architektonischer Sicht zu einem zufriedenstellenden Ergebnis.

Die gesamte Leistung der Anlagen beläuft sich auf rund 2 MW.

Die Gebäude werden mittels zusätzlicher Kriterien in drei Kategorien unterteilt:

Kategorie A

Die Gebäude können für eine kurz- oder mittelfristige Realisierung einer Solaranlage vorgeschlagen werden, da sie die folgenden drei Kriterien erfüllen:

1. Die Gebäude verfügen über südlich ausgerichtete (Abweichung von Süden max. 30°) oder horizontale (Flachdächer) Potenzialflächen. Diese Dachausrichtung ermöglicht einen höheren Solarertrag (über 90% des möglichen Maximalertrags).
 2. Es sind für die kommenden 25 Jahre keine grösseren Änderungen (z. B. Dachsanierung, zusätzliches Stockwerk) auf dem Dach vorgesehen.
 3. Es sind keine zusätzlichen Massnahmen (z. B. Bäume stark zurückschneiden oder fällen) nötig, um die Rahmenbedingungen zur Errichtung und zum Betrieb der Solaranlage zu verbessern.
- **Anstalten von Bellechasse** – Verwaltungsgebäude, Gefängnis und Schweinestall, Bas-Vully, Bellechasse

306 und 307, Derrière-le-Canal 366, Nummern: 666, 922 und 924, Potenzial: 80 kW

- **Kollegium des Südens – Sporthalle**, Bulle, Rue de Dardens 75, Nummer 845 Potenzial: 90 kW
- **Polizeiposten – Regionales Einsatzzentrum (und Garage)**, Domdidier, Route de l'Industrie 110 und 110a, Nummern: 908 und 909, Potenzial: 30 kW
- **Fachmittelschule – Schule und Sporthalle**, Freiburg, Avenue du Moléson 17b und c, Nummer: 67 und 68, Potenzial: 120 kW
- **Kaserne La Poya – Ausbildung**, Freiburg, Avenue Général-Guisan 27, Nummer: 1014, Potenzial: 20 kW
- **Hochschule für Technik und Architektur – Verwaltung**, Freiburg, Boulevard de Pérolles 80, Nummer: 189, Potenzial: 20 kW
- **Universität Freiburg – Büros, Auditorium, Bibliothek und Mensa**, Freiburg, Pérolles 90 und 95, Nummer: 1049 und 1050, Potenzial: 50 kW (Gesamtleistung)
- **Fakultät der Naturwissenschaften – Institut für Chemie**, Freiburg, Chemin du Musée 9, Nummer: 108, Potenzial: 30 kW
- **Kollegium Heilig Kreuz – Sporthalle**, Freiburg, Rue Antoine-de-Saint-Exupéry 2, Nummer: 48, Potenzial: 100 kW
- **Pädagogische Hochschule (PLSI) – Schule**, Freiburg, Murtengasse 34, Nummer: 94, Potenzial: 50 kW
- **Verwaltungsgericht**, Givisiez, Route André-Piller 21, Nummer: 801, Potenzial: 90 kW
- **Verwaltungsgebäude**, Granges-Paccot, Chemin de la Madeleine 1, Nummer: 777, Potenzial: 60 kW
- **Polizei Einsatzzentrale – Verwaltung**, Granges-Paccot, Chemin de la Madeleine 8, Nummer: 396, Potenzial: 20 kW
- **Verkehrspolizei – Werkstatt**, Granges-Paccot, Chemin de la Madeleine 10, Nummer: 395, Potenzial: 150 kW
- **Landwirtschaftliches Institut Grangeneuve**, Posieux, Route de Grangeneuve 2, 4, 17, 21, 27, 29 und 31, Nummern: 542, 545, 546, 559, 667, 678, 696 und 814, Potenzial: 180 kW (Gesamtleistung)
- **HFR Riaz – Spital**, Riaz, Rue de l'Hôpital 9, Nummer: 940, Potenzial: 70 kW
- **Polizeiposten – Regionales Einsatzzentrum (und Garage)**, Vaulruz, Les Ponts-d'Amont 9 und 9a, Nummern: 904 und 910, Potenzial: 50 kW
- **Lehrwerkstätte (im Bau)**, Freiburg, Chemin du Musée 2, Potenzial: 60 kW

Kategorie B

Die unten aufgeführten Gebäude können für eine Realisierung einer Solaranlage vorgeschlagen werden, wenn folgende Vorgaben erfüllt sind:

1. Die Gebäude verfügen über südwestlich bis südöstlich ausgerichtete (Abweichung von Süden max. 60°) oder horizontale (Flachdächer) Potenzialflächen. Diese Dachausrichtung ermöglicht einen höheren oder guten Solarertrag (um die 90% des möglichen Maximalertrags).

2. Eine grössere Änderung (z. B. Dachsanierung, zusätzliches Stockwerk) auf dem Dach muss vor oder gleichzeitig mit der Realisierung der Solaranlage vorgenommen werden.
 4. Eine zusätzliche Massnahme (z. B. Bäume stark zurückschneiden oder fällen) muss vor oder gleichzeitig mit der Realisierung der Solaranlage vorgenommen werden, um die Rahmenbedingungen für die Realisierung oder den Betrieb der Solaranlage zu verbessern.
- **Anstalten von Bellechasse – Reparaturwerkstatt und Maschineneinstellhalle**, Bas-Vully, Bellechasse 350, Derrière-le-Canal 359, Nummern: 247 und 253, Potenzial: 80 kW (Gesamtleistung)
 - **Kollegium des Südens – Schulzentrum**, Bulle, Rue de Dardens 79, Nummer: 858, Potenzial: 50 kW
 - **Kantonales Zeughaus/Kaserne La Poya**, Freiburg, Avenue Général-Guisan 1, 11, 13 und 15, Nummern: 71, 75, 76, 77, Potenzial: 130 kW (Gesamtleistung)
 - **Kollegium St. Michael – Sportzentrum**, Freiburg, Rue Saint-Pierre Canisius 16, Nummer: 45, Potenzial: 40 kW. Ein Teil des Solarpotenzials kann für die Wassererwärmung des Hallenbads genutzt werden. Die Solaranlage ist für 2014 vorgesehen.
 - **Anstalten von Bellechasse – Ökonomiegebäude**, Galmiz, Erlenhof 1a und 1c, Nummern: 362 und 363, Potenzial: 50 kW (Gesamtleistung)
 - **Anstalten von Bellechasse – Einstellhalle**, Galmiz, Tannenhof 1c und 1h, Nummer: 387, Potenzial: 70 kW (Gesamtleistung)
 - **Landwirtschaftliches Institut Grangeneuve – Schweinestall**, Posieux, Route de Grangeneuve 16 und 16a, Nummern: 561 und 885, Potenzial: 30 kW (Gesamtleistung)
 - **Ferienlager – Schlafsaal**, Plaffeien, Schwarzsee 320, Nummer: 513, Potenzial: 30 kW
 - **Kollegium Gambach (im Bau)**, Freiburg, Avenue Louis Weck-Reynold, Potenzial: 60 kW

Kategorie C

Gebäude, die dem Bund gehören:

- **Nationalstrassenwerkhof – Werkhof (und Salzlager)**, Domdidier, Route de l'Industrie 112 und 112b, Nummern: 875 und 878, Potenzial: 80 kW.
- **Werkhof – Salzlager, Garage und Werkstatt**, Granges-Paccot, Chemin de la Madeleine 2, 4 und 6, Nummern: 392, 393 und 394, Potenzial: 160 kW.
- **Nationalstrassenwerkhof – Werkhof, Garage, Salzlager**, Vaulruz, Les Ponts-d'Amont 6, 6a, 6b, 8 und 8a, Nummern: 682, 683, 734, 735 und 736, Potenzial: 80 kW (Gesamtleistung).
- **Lagergebäude**, Freiburg, Avenue Général-Guisan 21, Potenzial: 50 kW.

6. SCHLUSSFOLGERUNG

Artikel 5 Abs. 6 des Energiegesetzes legt fest, dass die Gebäude des Staats und der Gemeinden für ihren eigenen Elektrizitätsverbrauch von den Elektrizitätsversorgungsunternehmen schrittweise mit grünem Strom versorgt werden sollen, der im Kanton produziert wird und das Label Naturemade Star oder ein gleichwertiges Label trägt. Gestützt auf das Ergebnis der Studie und unter Berücksichtigung der verfügbaren Mittel will der Staatsrat die Arbeiten im Hinblick auf die Erfüllung dieser Vorgabe fortsetzen. Auf diese Weise werden die im Programm «Energie 2009» gesteckten Ziele Schritt für Schritt erreicht werden können.

Der Staat will so seiner in der 2009 genehmigten Energiestrategie definierten Vorbildfunktion im Energiebereich weiterhin gerecht werden.

Wir bitten Sie, den vorliegenden Bericht zur Kenntnis zu nehmen.