solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Es ist genug für alle da

Potentiale der Solarenergie in unserer Region

27 | 04 | 2022 Radolfzell

- Grundsätzliches
- Rechenbeispiel für den Lkr. Konstanz
- Erzeugungskosten bei großen, mittleren und kleinen PV-Anlagen
- Exkurs Fassaden-PV und Kühlung
- Fazit

1. Warum sind die Landflächen grün?

Weil alle außer uns von der Sonne leben

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Alle Pflanzen wachsen zum Licht
und leben vom Licht!

Bäume, Gräser, Nutzpflanzen ...
Und die gesamte Nahrungskette ...
Gras, Hase, Fuchs

Was können wir von den Pflanzen lernen?

Nutze die Sonne auf allen Flächen!

Photosynthese

Photovoltaik

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Bioenergie

Wasserkraft

Windkraft

Alles solare Energien!

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Das Geschenk des Himmels ...

Jahressumme Globalstrahlung (in kWh / m²)

10 kWh = Energieinhalt von einem Liter Heizöl

In Süddeutschland > 100 l Heizöl / m²

2. Weltenergieverbrauch und solares Angebot

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Kommerzieller Energiebedarf der Menschheit bisher

ca. 5×10^{15} kWh

Solares Angebot pro Tag

ca. 4×10^{15} kWh

Quelle: bis 1965, Barbara Muck, environmental science (2005)
ab 1965, BP Statistical Review of World Energy (2015)

Kommerzieller Energiebedarf der Menschheit vor 1945: irrelevant

Kommerzieller Energiebedarf der Menschheit 1945 – 2015: ca. 500 Mrd t Erdöläquivalent

= ca. 5 x 10^{14} kg

= ca. 5 x 10^{15} kWh

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Die Sonne „liefert“ pro Jahr eine Energiemenge auf die Erdoberfläche von ~ $1{,}5 \cdot 10^{18}$ kWh

Das ist etwa das 10.000 fache des aktuellen kommerziellen Energiebedarfs der Menschheit pro Jahr ~ $1{,}6 \times 10^{14}$ kWh

Quelle: wikipedia.de

Pro Tag ist das eine Energiemenge von etwa 4×10^{15} kWh
($1{,}5 \cdot 10^{18}$ kWh / 365)

3. Stromlücke in Baden-Württemberg wächst

in TWh = Mrd. kWh

solarcomplex: sonne ▪ wind ▪ wärme

Quelle: Umweltministerium Baden-Württemberg: Erneuerbare Energien 2020, erste Abschätzung Stand April 2021

Strombedarf verdoppelt sich

in TWh = Mrd. kWh

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Bild 2: Entwicklung des Stromeinsatzes (Endenergie) für die Einsatzzwecke Kraft, Licht, Kommunikation; Wärme (inkl. Prozesswärme) und Mobilität in BW bis 2020 und im Szenario KLIMANEUTRAL 2040 sowie Zusatzbedarf für die Bereitstellung von EE-Wasserstoff (unabhängig davon, wo dieser produziert wird, vgl. Kap. 2.5).

Quelle: Baden-Württemberg Klimaneutral 2040:
Erforderlicher Ausbau der erneuerbaren Energien
Dr. Nitsch et. al., Oktober 2021

Ausgangslage in Baden-Württemberg

solarcomplex: sonne ▪ wind ▪ wärme

- **Strombedarf steigt**
  weil Verkehrs- und Wärmesektor zunehmend elektrifiziert werden:
  - E-Fahrzeuge (egal ob Batterie oder Wasserstoff)
  - Wärmepumpen
  - grüner Wasserstoff

Neuzulassungen e-Fahrzeuge in Deutschland pro Jahr

Quelle: Kraftfahrbundesamt

Börsenstrompreise spielen verrückt

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Quelle: www.energy-charts.de

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Quelle: www.energy-charts.de

Ausgangslage in Baden-Württemberg

- **Zubau im wesentlichen bei PV , denn:**
  - Wasserkraft ist **ausgereizt**
  - Biogas **absehbar rückläufig**
    nach Ende EEG nur Anlagen mit Wärmenutzung überlebensfähig
  - Windkraft mit **überschaubaren** Möglichkeiten
    die 1.000 Anlagen im Koalitionsvertrag sind Wunschdenken
    (jedenfalls bei unveränderten Rahmenbedingungen)

Biogasanlage Johannihof Gailingen

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Leistung 280 kW_{el}

Stromerzeugung 2,3 Mio. kWh / a
Flächenbedarf ca. 120 ha
(Anbau v. Energiepflanzen)

Stromerzeugung je Hektar: **ca. 20.000 kWh / a**

Zusätzlich Wärmelieferung
ans Hegau-Jugendwerk

Solarpark Stockach

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Leistung ~ 750 kW

Stromerzeugung gut 800.000 kWh / a
Flächenbedarf knapp 1 ha

Stromerzeugung je Hektar
ca. 1 Mio kWh / a

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Windpark Verenafohren

Leistung je 3.300 kW (3,3 MW)

Stromerzeugung gesamt ~ 20 Mio kWh / a

für 3 Anlagen wurden gerodet 2,9 ha

Stromerzeugung je Hektar
ca. 6,5 Mio kWh / a

Stromernte je Hektar

solarcomplex: sonne ▪ wind ▪ wärme

Biogas Johannihof	20.000 kWh	
Solarpark Stockach	1 Mio kWh	ca. Faktor 50
Windpark Verenafohren	6,5 Mio kWh	ca. Faktor 300

Andersherum: Flächenbedarf für 1 Mio kWh:

- Grundsätzliches
- Rechenbeispiel für den Lkr. Konstanz
- Erzeugungskosten bei großen, mittleren und kleinen PV-Anlagen
- Exkurs Fassaden-PV und Kühlung
- Fazit

Der Landkreis Konstanz und die Sonne

- 5 qm Modulfläche = 1 kW = 1.000 kWh
- 1 km² (1 Mio qm) = 200.000 kW (200 MW) = 200 Mio kWh
- Strombedarf nicht regenerativer Anteil aktuell ca. 1 Mrd. kWh
- 5 km² Modulfläche

Landkreis Konstanz = ~ 800 km² = 800 Mio m²

Landwirtschaft
~ 400 km²

Verkehr & Siedlung
~ 110 km²

Wald
~ 270 km²

Quelle: wikipedia

Landwirtschaft
~ 400 km²

Davon PV = (2+2) = 4 km²
= 1 %

Verkehr & Siedlung
~ 110 km²

davon PV = 3 km²
= 3 %

Wald
~ 270 km²

Landwirtschaft
~ 400 km²

Verkehr & Siedlung
~ 110 km²

Wald
~ 270 km²

Davon Biogas = 40 km²
= 10 %

davon PV = 3 km²
= 3 %

- Grundsätzliches
- Rechenbeispiel für den Lkr. Konstanz
- Erzeugungskosten bei großen, mittleren und kleinen PV-Anlagen
- Exkurs Fassaden-PV und Kühlung
- Fazit

Kostenentwicklung PV – reale Anlagen
Fast Faktor 10 in 20 Jahren

solarcomplex: sonne ▪ wind ▪ wärme

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Die „neue“ PV-Welt

- Solarstrom ist phänomenal günstig geworden, eine kWh kostet:

  - aus Freiland-PV und sehr großen Dachanlagen unter 5 ct
  - aus mittelgroßen Dachanlagen unter 7 ct
  - aus kleinen Dachanlagen unter 10 ct

- In allen Leistungsklassen kann „ungehemmt“ zugebaut werden.
  Deutlich positive Rendite aufs eingesetzte Kapital.
  Zinsgünstige Darlehen stehen zur Verfügung.

- Solarstrom wird vorrangig selbst genutzt !
  Nur Überschüsse werden noch eingespeist.

- Für das zukünftige Energiesystem ist es hilfreich, wenn man nicht nur südorientierte Flächen belegt, sondern bewußt auch Ost-, West- und: Fassaden-Flächen

Erzeugungskosten Solarstrom in 2022

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Freilandanlage im Multi-MW-Bereich

Annahmen

• je 1.000 kW Freiland (bei 600 Euro Invest pro installiertem kW)	600.000 Euro
• 100% finanziert, KfW, 2% Zins	120.000 Euro
• Jährliche Betriebskosten 2% des Invests (Nutzungsdauer 25 Jahre x 2% aus 600.000)	300.000 Euro
Kosten Gesamt	1.020.000 Euro

Spezifischer Stromertrag im Mittel 1.000 kWh/kW

Stromerzeugung (25 Jahre x 1.000 kW x 1.000 kWh/kW)	25 Mio kWh
Kosten je kWh (1.020.000 Euro / 25 Mio kWh)	**4,1 ct / kWh**

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

EEG geht - PPA kommt

- Bei Erzeugungskosten für Solarstrom auf / unter Börsenstrompreisniveau (große Anlagen) kann der Strom direkt vermarktet werden
- PPA (=Power Purchase Agreement = Strom Liefer Vertrag) mit Ökostromanbieter, Stadtwerk, großem Industriebetrieb
- Wenn Vergütung nicht aus dem EEG beansprucht wird, muß auch nicht die Flächenkulisse des EEG erfüllt werden
- Gebaut werden kann „überall“
- B-Plan ist immer notwendig, Steuerung bei Gemeinde

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Bodenseewasserversorgung, Sipplingen

Leistung: ø 18 MW

Strombedarf: ~ 150 Mio kWh

1,4 MW auf dem Dach liefern:

~ 1%

Strombedarf Universität Konstanz: ~ 24 GWh

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Quelle: Jahresbericht Universität Konstanz 2020

Strombedarf Klinik Konstanz: ~ 15 GWh

Quelle: Energienutzungsplan Konstanz 2018

Solarpark bietet Erholungsraum für Pflanzen und Tiere

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

- Klare ökologische Aufwertung der Fläche durch den Solarpark
- Kein Düngereintrag, keine Pestizide
- Flächenversiegelung minimal
- Umzäunung durchlässig für Kleintiere
- Nisthilfen für Insekten

Solarparks mit ökologischem Mehrwert

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

- Mooshof: jährliches Monitoring des BUND bestätigt große Artenvielfalt und etliche Rote-Liste-Arten
- Einladung zur Besichtigung
- www.youtube.com
  Suchbegriff „Solarpark Mooshof“

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Beispiele für „geringwertige“ landwirtschaftliche Nutzung

- Beweidung

- Hühnerhaltung

Vorschlag für Auswahlkriterien

- Weder ökologisch noch landwirtschaftlich besonders hochwertig
- „Vom Eigentümer bewirtschaftet“ vor „Verpachtet“
- Landschaftlich nicht besonders exponiert
- Bereitschaft zum Abführen der Kommunalabgabe: 0,2 ct / kWh
  (Daraus können auch problemlos Pächter entschädigt werden)

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Vorschlag Zwischenschritt

- Bis 2025 in jeder Gemeinde des Lkr. KN mindestens eine „große“ PV-Anlage, groß = > 3 MW
- Vorgelegt haben Steisslingen und Mühlhausen mit je ~ 10 MW
- In Q2 / 2022 geht SP Berghof bei Tengen mit 3,7 MW in Betrieb
- Für 2023 ist im Radolfzeller Ortsteil Reute ein Solarpark mit rd. 5 MW geplant, B-Plan-Verfahren läuft
- Ab 2025 fallen viele Biogasanlagen aus dem EEG und werden stillgelegt, Hunderte ha Flächen werden „frei“ dann nächster Schritt

Erzeugungskosten Solarstrom in 2022

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Mittlere PV-Dachanlage (~ 100 kW)

Annahmen

• 100 kW Dachanlage (max. 900 Euro netto pro installiertem kW)	90.000 Euro
• 100% finanziert, KfW, 2% Zins	20.000 Euro
• Jährliche Betriebskosten 2% des Invests (Nutzungsdauer 25 Jahre x 2% aus 90.000)	45.000 Euro
Kosten Gesamt	155.000 Euro

Spezifischer Stromertrag 1.000 kWh/kW

Stromerzeugung (25 Jahre x 100 kW x 1.000 kWh/kW)	2,5 Mio kWh

Kosten je kWh (155.000 Euro / 2,5 Mio kWh) **6,2 ct / kWh**

Mittlere PV-Dachanlagen

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

- Erzeugungskosten vom eigenen Dach unter 7 ct / kWh
- Bezugskosten 15 bis 30 ct / kWh = Attraktive EK-Renditen
- „Ost-West“ ist generell die neue Philosophie:
  - gleichmäßigeres Angebot über den Tag
  - etwas geringerer Absolutertrag, aber zur Eigenversorgung hochsinnvoll
  - Flachere Mittagsspitze = Entlastung der Stromnetze
  - Das verfügbare Dachflächenpotential verdreifacht sich

Wasserwerk Aitrachtal

Fa. Uhrig Geisingen

Fa. GUK, Wellendingen

Mühlbach
Robert-Gerwig-Straße
Böhringer Str.
Böhringer Str.
Böhringer Str.
Herrenlandstraße
Herrenlandstraße
Robert-Gerwig-Straße
Mühlbach
Lippenweiden
Lippenweiden
Mühlbach
Herrenlandstraße
Herrenlandstraße
Schiedelengraben
Zeppelinstraße
Mühlbach
Eisenbahnstraße
Eisenbahnstraße
Zeppelinstraße
Google Earth

Sonnenrain
Ostlandstraße
Ostlandstraße
Neuer Wall
Neuer Wall
Neuer Wall
Reutesteg
Reutesteg
Mezgerwarding
Mezgerwarding
Schlesierstraße
Schlesierstraße
Dahmweg
Erlenweg
Am Graben
Am Graben
Hadumothstraße
Moengalstraße
Ekkehardstraße
Ekkehardstraße
L220
Google Earth

Gewerbebetrieb „Kontinuierlicher Bedarf“

solarcomplex: sonne ▪ wind ▪ wärme

- > 90% des Tagesbedarfs aus eigener Anlage

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Fa. Okle, Singen: Grundlast am Wochenende - von rund 200 kW auf nahe 0 ! Bezugsspitze geht runter - der Leistungspreis sinkt

2013 (ohne PV)

2014 (mit PV)

Erzeugungskosten Solarstrom in 2022

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Kleine PV-Dachanlage (kleiner 10 kW)

Annahmen

- 9 kW Dachanlage
  (max. 1.400 Euro netto pro installiertem kW) — 12.600 Euro
- ohne Darlehen
- Jährliche Betriebskosten 2,5% des Invests — 7.875 Euro
  (Nutzungsdauer 25 Jahre x 2,5% aus 12.600)

Kosten Gesamt — ~ 20.475 Euro

Spezifischer Stromertrag 950 kWh/kW

Stromerzeugung (25 Jahre x 9 kW x 950 kWh/kW) — 213.750 kWh

Kosten je kWh (20.475 Euro / 213.750 kWh) — **9,6 ct / kWh**

Kleine PV-Dachanlagen

- max. 10 ct / kWh
- Bezugskosten mind. 30 ct / kWh
- Einsparung durch Eigennutzung ergibt attraktive EK-Rendite
- „Power-to-heat“ und „E-Mobilität“ als neue Anwendungen für eigenen Solarstrom

Rielasingen 7 kW

Gaienhofen 8 kW

Frickingen 5 kW

Exkurs Solarthermie / Photovoltaik

- Solarthermie > 20 ct je kWh / PV max. 10 ct je kWh
- Solarthermie: Überschüsse verpuffen, wenn Speicher voll / PV: Überschüsse ins Netz
- Solarthermie jährliche Wartung empfohlen (Druck, Frostschutz) / PV wartungsarm
- Solarthermie: Mit Warmwasser kann man kein Auto antreiben / PV: mit Strom schon
- PV: „Power-to-heat“ und „E-Mobilität“ als neue Anwendungen

Briefmarkenästhetik

Exkurs Solarthermie / Photovoltaik

- Solarthermie > 20 ct je kWh / PV max. 10 ct je kWh
- Solarthermie: Überschüsse verpuffen, wenn Speicher voll / PV: Überschüsse ins Netz
- Solarthermie jährliche Wartung empfohlen (Druck, Frostschutz) / PV wartungsarm
- Solarthermie: Mit Warmwasser kann man kein Auto antreiben / PV: mit Strom schon
- PV: „Power-to-heat“ und „E-Mobilität“ als neue Anwendungen

- Deshalb: PV – soviel draufpasst

PV bringt mehr + ist günstiger

2. Anmerkung: Wie erhöht man die Eigenverbrauchsquote?

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

- e-Fahrzeuge

- *oder* Solarbatterie

(Nur sinnvoll, wenn nachts Strombedarf)

- *oder* Heizstab / Wärmepumpe

Oder alles drei !

Solarstrom und e-Mobilität = unschlagbar

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

- typischer Verbrauch 15 kWh / 100 km
- bei 10 ct Erzeugungskosten Solarstrom = 1,50 Euro / 100 km
- Verbrenner 6 l / 100 km mal 1,50 je Liter = 9 Euro / 100 km
- 1 m² Modulfläche = 1.000 km / 15 m² Modulfläche = 15.000 km
- zusätzlicher Strombedarf je 10 Mio Fahrzeuge: ca. 22 TWh = (ca. 4% des Gesamtbedarfs)

- Grundsätzliches
- Rechenbeispiel für den Lkr. Konstanz
- Erzeugungskosten bei großen, mittleren und kleinen PV-Anlagen
- Exkurs Fassaden-PV und Kühlung
- Fazit

Exkurs PV in / auf Fassaden

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

PV auf Fassade - Wirtschaftlichkeit

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Erzeugungskosten Solarstrom in 2022

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Kleine PV-Fassadenanlage (kleiner 10 kW)

Annahmen

- 9 kW Dachanlage
  (max. 1.400 Euro Invest pro installiertem kW - pessi) — 12.600 Euro
- ohne Darlehen
- Jährliche Betriebskosten 2,5% des Invests — 7.875 Euro
  (Nutzungsdauer 25 Jahre x 2,5% aus 12.600)

Kosten Gesamt — ~ 20.475 Euro

Spezifischer Stromertrag 500 kWh/kW

Stromerzeugung (25 Jahre x 9 kW x 500 kWh/kW) — 112.500 kWh

Kosten je kWh (20.475 Euro / 213.750 kWh) — **18,2 ct / kWh**

= Günstiger als jeder Haushaltstarif

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Bei Neubau oder energetischer Sanierung Stromerzeugung ohne Mehrkosten

1 qm PV = ~ 100 Euro / 1 qm „Irgendwas“ = ~ 100 Euro

Standard-Module einsetzen, keine Sonderanfertigungen !

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

PV auf Fassade
Wirtschaftlichkeit bei energetischer Sanierung

Beispiel solarcomplex-Bürogebäude
Typisches 1960er Gebäude

Schnitt Südfassade vorher

Fußbodenaufbau:

30 cm Stahlbetondecke
2 cm Wärmedämmung
3 cm Gußasphalt
0,3 cm Nadelfilzbelag

Wandaufbau (von Innen nach Außen)

1,5 cm Putz
2,5 cm Heraklith
11,5 cm Stahlbetonwand
2 cm Putz
30 cm Zellulosedämmung
1,2 cm DURIPANEL
5 cm Müpro Schiene
5 cm PV Modul

Verkleidung Deckenstirn

2,5 cm Heraklith

Schnitt Südfassade nachher

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Sieht schick aus – Strom kostet: NIX !

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Exkurs: PV und Kühlen

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

- Kühlbedarf wird auch in unseren Breiten steigen
- Kühlbedarf perspektivisch höher als Heizbedarf
- PV bringt Doppelnutzen: nach unten verschatten = passiv kühlen
  Nach oben Strom ernten, für aktive Klimatisierung

- Grundsätzliches
- Rechenbeispiel für den Lkr. Konstanz
- Erzeugungskosten bei großen, mittleren und kleinen PV-Anlagen
- Exkurs Fassaden-PV und Kühlung
- Fazit

PV und Architektur

Dach- und Fassadenflächen waren früher Wetterschutz – heute auch Ernteflächen.

Im Neubau generell PV, ausnahmslos!

Es ist Aufgabe der Architekten, diese Anforderung ästhetisch umzusetzen ! Und das geht!

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Es ist genug für alle da

Das solare Strahlungsangebot übersteigt weltweit
– aber auch im Lkr. Konstanz - den Energiebedarf um ein vielfaches.

Wir müssen dieses aber auch nutzen.

Das Intelligenzniveau von Löwenzahn und Hummel.
Zwischenschritt in der Evolution des Menschen.

solarcomplex:
sonne ▪ wind ▪ wärme

Ende der Präsentation – vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Weitere Infos unter: www.solarcomplex.de

oder www.facebook.com/solarcomplex

oder in unserem email – Newsletter
etwa vierteljährlich
bei Interesse gerne abonnieren