Stand: 06.07.2023

Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

Freiflächen-PV an Autobahnen & Schienen in Deutschland (200m BGBl 2023)

➔ Hier geht's zur Analyse des 500m Puffers nach EEG 2023

von *Christoph Pahmeyer, Jonas Böhm, Stefan Erasmi, Gideon Tetteh, Alexander Gocht*

Am 11. Januar 2023 ist das Gesetz zur sofortigen Verbesserung der Rahmenbedingungen für die erneuerbaren Energien im Städtebaurecht in Kraft getreten (BGBl 2023 I Nr. 6).

Durch das Gesetz werden sog. Freiflächen-PV Anlagen in die Liste der privilegierten Vorhaben des § 35 Abs. 1 BauGB aufgenommen, die sich auf einer Fläche längs von Autobahnen oder zweigleisigen Schienenwegen des übergeordneten Netzes nach § 2b AEG und in einer Entfernung zu diesen von bis zu 200 m befinden.

Freiflächen-PV Anlage entlang einer Bahnstrecke. © Michael Welling

Um mögliche Flächenkonkurrenzen, die sich aus der Gesetzesänderung ergeben, besser abschätzen zu können, hat das Thünen-Institut für Betriebswirtschaft eine erste Analyse der betroffenen Flächen anhand von Geodaten vorgenommen.

Die Grundfläche im Abstand von 200 Metern längs von Autobahnen und Schienenwegen beträgt ca. 10.611,36 km^2 (37,7% Autobahn, 62,3% Schienenwege). Dabei wurde bei den Autobahnen ein Puffer von 40 Metern abgezogen, um das generelle Bauverbot von 40 Meter neben der Autobahn zu berücksichtigen.

In dieser Flächenkulisse wurde eine landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) von **457.855 ha** auf 321.181 Feldern identifiziert. Das entspricht ca. 43,1% der Grundfläche im Abstand von 200 Metern längs von Autobahnen und Schienenwegen und ca. 2,76% der gesamten LF Deutschlands.

Die restlichen 56,9% der Grundfläche entfallen auf andere Nutzungsarten wie Wald, Siedlung oder Wasser.

Von der LF entfallen ca. 69,5% der Fläche auf Ackerland (318.172 ha), 14,1% auf Dauergrünland (64.496 ha) und 16,4% auf andere Flächen (75.187 ha, nicht identifizierte Flächen und Dauerkulturen). Etwa 6,98% der LF (31.946 ha) liegen innerhalb von Naturschutzgebieten.

Die Daten für diese Analyse stammen aus verschiedenen Quellen: Die Feldgrenzen wurden am Thünen-Institut für alle Bundesländer automatisiert aus Sentinel-2 Satellitendaten abgeleitet (Thünen-Fernerkundung) und für Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Brandenburg mit den Schlaggrenzen aus dem Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem (InVeKoS) abgeglichen; die Zuweisung der Flächennutzung für das Jahr 2020 erfolgte auf Basis der Karte der Hauptnutzungsklassen für Deutschland; die Autobahnen wurden aus OpenStreetMap extrahiert; das Schienennetz wurde von der Deutschen Bahn bereitgestellt; die Naturschutzgebiete wurden aus dem European Environment Agency Dataset "Nationally designated areas" übernommen; die Strahlungsintensitäten wurden dem Global Solar Atlas entnommen; und die Gemeinden wurden vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie bezogen.

Berechnung der Flächenkulisse und des theoretischen Ausbaupotentials

Hinweis: Die in der Analyse betrachteten Feldgrenzen sind zusammenhängende Flächen, die einheitlich mit einer Kultur bebaut und per Fernerkundung identifiziert wurden. Eigentumsverhältnisse sowie mögliche Nutzungskooperationen zwischen Eigentümer:innen sind nicht bekannt und können daher nicht berücksichtigt werden.

In der praktischen Umsetzung könnten einige der identifizierten Flächen zusammengelegt werden, wodurch sich größere (und damit wirtschaftlichere) Flächengrößen erreichen ließen.

Annahme über min. Flächengröße für Freiflächen-PV (ha) ➔ Hinweis beachten! 0

Naturschutzflächen ausschließen? ☑

Werden Naturschutzflächen kategorisch ausgeschlossen, kommen ca. 425.909 ha (93,02% der Gesamtfläche) auf 299.029 Schlägen in Betracht für die PV-Kulisse. Die durchschnittliche Schlaggröße beträgt dabei 1,424 ha (Median: 0,75 ha).

Flächenbedarf je MWp (ha/MWp) 1,1

Unter der vereinfachten Annahme, dass je Hektar 0,91 MWp Freiflächen-PV installiert werden können, ergibt sich ein theoretisches Potenzial von bis zu 387,19 GWp installierter Leistung auf den ausgewählten Flächen. Dies entspricht ca. 96,8% des im EEG 2023 definierten Ausbauziels von 400 GW installierter Leistung von Solaranlagen bis 2040 (EEG, 2023).

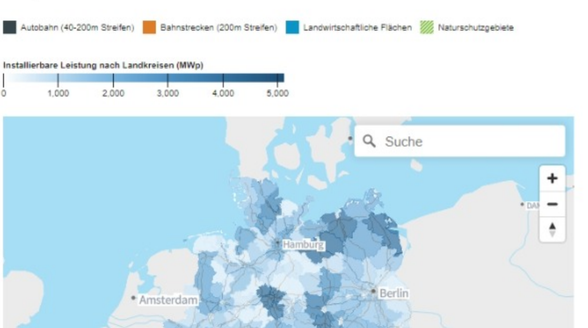
Auf Basis der räumlich differenzierten Strahlungsintensitäten ergibt sich daraus ein Stromerzeugungspotenzial von bis zu **420,59 TWh pro Jahr**. Dies entspricht ca. 71,43% der Bruttostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2021 (BMWK, 2023).

Karte

Karte anzeigen? (hoher Ressourcenverbrauch) ☑

Hintergrundkarte ◉ Basiskarte ○ Satellit

Aggregation auf Kreisebene anzeigen? ○ Keine ◉ Installierbare Leistung (MWp) ○ Stromerzeugungspotenzial (MWh)



Hinweis: Zoomen Sie in der Karte auf eine Autobahn oder Bahnstrecke, um einzelne Flächen anzusehen.

Theoretisches Ausbaupotential nach Gemeinden

	Gemeinde	AGS	Geeignete Fläc...	Installierbare L...	Stromerzeugu...
	string	number	number	number	number
	3,856 categories	1M – 17M	0 – 1400	0 – 1300	0 – 1.4M
0	Perkam	9,278,172	62	56	64,715
1	Rain	9,278,177	30	27	31,457
2	Atting	9,278,117	84	76	88,566
3	Straubing	9,263,000	180	164	189,998
4	Mötzing	9,375,171	60	54	62,663
5	Sünching	9,375,201	99	90	104,329
6	Riekofen	9,375,191	133	121	139,095
7	Schierling	9,375,196	205	187	214,817
8	Pfakofen	9,375,182	17	16	17,975
9	Hagelstadt	9,375,143	116	105	120,915

ausbaupotential_gemeinden · Search · 3,935 rows

Einordnung der Ergebnisse

Die im Notebook angegebenen Flächennutzungspotentiale sind eine maximale Obergrenze und stellen kein realistisches Ausbaupotential dar. Hierzu müssten weitere Einschränkungen beachtet werden, wie die Verschattung, Struktur der Eigentumsrechte der Flächen, Netzanschlussmöglichkeiten, Mindestabstand zu Siedlungsflächen und vieles mehr. Zudem muss eine Mindestflächengröße angenommen werden, um ökonomisch sinnvoll die Anlage betreiben zu können. Für eine detaillierte Diskussion solcher Aspekte siehe auch Kelm et al. (2019). Zudem weisen die Autoren darauf hin, dass mit der Berechnung und grafischen Darstellung der Flächen keine Bewertung zu der generellen Vorzüglichkeit vorgenommen wurde. Dazu sind weitere Schritte notwendig, wie beispielweise die Verschneidung von Ertragspotentialen der Landwirtschaft oder die Analyse der Eigentümerrechte.

Warum Observable?

Ein Observable notebook ist ein interaktives Dokument, das es Ihnen ermöglicht, Daten zu erforschen, zu analysieren und zu visualisieren. Sie können Code ändern und selber, Daten importieren, Grafiken erstellen und Ihre Ergebnisse mit anderen teilen. Sie können auch Fragen stellen, Feedback geben und so neue Erkenntnisse gewinnen.

Weiterführende Links bzw. Literatur

- Feuerbacher, A., Herrmann, T., Neuenfeldt, S., Laub, M., & Gocht, A. (2022). Estimating the economics and adoption potential of agrivoltaics in Germany using a farm-level bottom-up approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 168, 112784., DOI:10.1016/j.rser.2022.112784
- Photovoltaik auf Agrarflächen – für eine schnelle Energiewende, 2022

Anhang

Tabelle A1: Identifizierte Gesamtflächen nach Kulturen innerhalb einer Entfernung von 200m von Autobahnen und zweigleisigen Schienenwegen in Deutschland

	Kultur	Summe (ha)
	string	number
	24 unique values	0 – 65k
0	Winter wheat	63,947
1	Sugar beet	12,477
2	Potato	6,213
3	Small woody features	38,674
4	Permanent grassland	64,496
5	Maize	54,674
6	Vegetables	10,912
7	Fallow land	17,945
8	Winter rapeseed	22,583
9	<empty string>	16,432

areas_per_crop · Search · 24 rows

Technischer Anhang - Formeln und Daten

```
minMWp = 0

maxMWp = 5123

minMWh = 0

maxMWh = 5629126

stepsMWp = ▸ Array(18) [512, "#daecf8", 1025, "#b7d8f0", 1537, "#96c5e7", 2049, "#78b3dd", 2562, "#5fa1d0", 3074,

stepsMWh = ▸ Array(18) [562913, "#faf3db", 1125825, "#f5e7b9", 1688738, "#edd998", 2251650, "#e1c97c", 2814563, "#

nuts3_gemeinden = ▸ Map(401) {"DEF01" => Array(2), "DEF02" => Array(2), "DEF03" => Array(1), "DEF04" => Array(1),

nuts3_topo = ▸ Object {type: "Topology", arcs: Array(1679), transform: Object, objects: Object}

geojson_nuts3 = ▸ Object {type: "FeatureCollection", features: Array(428)}

geojson_nuts3 = {
  const fc = topojson.feature(nuts3_topo, nuts3_topo.objects.NUTS250_N3);
  fc.features.forEach((region, i) => {
    // Gemeinden für NUTS 3 Region abrufen
    const gemeinden = nuts3_gemeinden.get(region.properties.NUTS_CODE);
    // Potentiale aggregieren
    const gemeinde_daten = gemeinden.flatMap((g) =>
      ausbaupotential_gemeinden.filter((r) => Number(r.AGS) == g.AGS)
    );
    fc.features[i].properties["Installierbare Leistung (MWp)"] = d3.sum(
      gemeinde_daten.map((r) => r["Installierbare Leistung (MWp)"])
    );
    fc.features[i].properties["Stromerzeugungspotenzial (MWh)"] = d3.sum(
      gemeinde_daten.map((r) => r["Stromerzeugungspotenzial (MWh)"])
    );
    fc.features[i].properties["Geeignete Flächen (ha)"] = d3.sum(
      gemeinde_daten.map((r) => r["Geeignete Flächen (ha)"])
    );
  });
  return fc;
}

total_TWh = 420.59

total_TWh = _.round(energy_sums.totalEnergieMWh / (1000 * 1000), 2) //

perc_energie_verbrauch_d = 71.43

perc_energie_verbrauch_d = _.round((total_TWh / 588.8) * 100, 2) // Gesamtproduktion Deutschland
https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/strommarkt-der-
zukunft.html#:~:text=In%20Deutschland%20wurden%20im%20Jahr,das%20sind%20588%20Milliarden%20kWh%20.

monate = ▸ Array(11) [Object, Object, Object, Object, Object, Object, Object, Object, Object, Object, Object]

flaeche_autobahn_ha = 399797

flaeche_autobahn_ha = Math.round(3997965635 / 10000)

flaeche_schienen_ha = 661339

flaeche_schienen_ha = Math.round(6613393610 / 10000)

perc_autobahn = 37.7

perc_schiene = 62.3

perc_of_total = 43.1

natura2000_area = 31946

natura2000_area = total_area - total_area_no_natura2000

areas_per_land_use_perc = ▸ Object {Dauergrünland: "14,1", Andere: "16,4", Ackerland: "69,5"}

render = ƒ(t)

<detached>

naturschutz_pattern = render(
  textures.lines().size(4).strokeWidth(1).stroke("white").background("#7DBB39")
)

naturschutz_pattern_png = "

naturschutz_pattern_png = rasterize(naturschutz_pattern)

rasterize = ƒ(…)

otherCrops = ▸ Array(8) ["Other agricultural areas", "Small woody features", "Grapevine", "Hops", "Orchard", "Smal
```

Technischer Anhang - SQL

```
energy_sums = ▸ Row {totalInstallierbarMWp: 387190, totalEnergieMWh: 420589389, avgPVOUT: 1090}

energy_sums = lf_200_db.queryRow(
  `SELECT
    ROUND(SUM(MWp)) totalInstallierbarMWp,
    ROUND(SUM(MWh)) totalEnergieMWh,
    ROUND(AVG(PVOUT_centroid)) avgPVOUT
FROM
  db_extended
`
)

mean_area = ▸ Row {mean_area: 1.4243065388308243, median_area: 0.75}

mean_area = lf_200_db.queryRow(
  `SELECT
    AVG(streifen_flaeche_ha) mean_area,
    MEDIAN(streifen_flaeche_ha) median_area
FROM
  db_extended
`
)

total_area_filtered = 425909

total_area_filtered = (
  await lf_200_db.queryRow(
    'SELECT ROUND(SUM(streifen_flaeche_ha)) "sum" FROM db_extended'
  )
).sum

anzahl_flaechen_gesamt = 321181

anzahl_flaechen_gesamt = (
  await lf_200_db.queryRow(`SELECT count()::INT as count
FROM lf_200`)
).count

anzahl_flaechen_filtered = 299029

anzahl_flaechen_filtered = (
  await lf_200_db.queryRow(`SELECT count()::INT as count
FROM db_extended`)
).count

total_area = 457855

total_area = (
  await lf_200_db.queryRow(
    'SELECT ROUND(SUM(streifen_flaeche_ha)) "sum" FROM lf_200'
  )
).sum

total_area_no_natura2000 = 425909

total_area_no_natura2000 = (
  await lf_200_db.queryRow(
    'SELECT ROUND(SUM(streifen_flaeche_ha)) "sum" FROM lf_200 WHERE LENGTH(natura2000) == 0'
  )
).sum

areas_per_land_use = ▸ Object {Dauergrünland: 64496, Andere: 75187, Ackerland: 318172}

areas_per_land_use = ({
  Dauergrünland: (
    await lf_200_db.queryRow(
      `SELECT
    ROUND(SUM(streifen_flaeche_ha)) pg
   FROM lf_200
   WHERE crop_type='Permanent grassland'`
    )
  ).pg,
  Andere: (
    await lf_200_db.queryRow(
      `SELECT
    ROUND(SUM(streifen_flaeche_ha)) andere
   FROM lf_200
   WHERE ${otherCrops.map((crop) => `crop_type='${crop}'`).join(" OR ")}`
    )
  ).andere,
  Ackerland: (
    await lf_200_db.queryRow(
      `SELECT
    ROUND(SUM(streifen_flaeche_ha)) al
   FROM lf_200
   WHERE crop_type!='Permanent grassland' AND ${otherCrops
     .map((crop) => `crop_type!='${crop}'`)
     .join(" AND ")}`
    )
  ).al
})

lf_200_db = ▸ DuckDBClient {}

lf_200_db = (db_extended, db_initial)

db_extended = ▸ Array(0) [schema: Array(1)]

db_extended = db_initial.query(
  `CREATE OR REPLACE VIEW db_extended AS
SELECT
  (streifen_flaeche_ha / ${fia_simple}) AS "MWp",
  ((streifen_flaeche_ha / ${fia_simple}) * PVOUT_centroid) AS "MWh",
  *
FROM lf_200
WHERE
  streifen_flaeche_ha >= ${min_size}
  AND LENGTH(natura2000) ${nat_ausschliessen.length ? "== 0" : ">= 0"}
`
)

db_initial = ▸ DuckDBClient {}

db_initial = DuckDBClient.of({
  lf_200: await FileAttachment(
    "lf_an_autobahnen_bahnstrecken_inkl_daten@1.parquet"
  )
})
```

Technischer Anhang - Programmbibliotheken

```
maplibregl = ▸ Object {supported: ƒ(t), setRTLTextPlugin: ƒ(…), getRTLTextPluginStatus: ƒ(), Map: class, Navigatic
```

(Maplibre Stylesheet)

```
textures = ▸ Object {circles: ƒ(), lines: ƒ(), paths: ƒ()}

pmtiles = ▸ Module {Compression: Object, EtagMismatch: class, FetchSource: class, FileAPISource: class, PMTiles: c

import {Swatches, Legend} from "@d3/color-legend"

MaplibreGeocoder = ƒ(t, e)

topojson = ▸ Object {bbox: ƒ(topology), feature: ƒ(topology, o), mesh: ƒ(topology), meshArcs: ƒ(…), merge: ƒ(topol
```

Learn new data visualization techniques. Perform complex data analysis. Publish your findings in a compelling document. All in the same tool.

Sign up for free

More from Observable creators — View all ➔

Schools map — Erica Yee — Jul 3
Plot: Radar chart, small multiples — Observable • Jeff Pettiross — Jun 29 · 13
SuttaPitaka Horizontal — Cittadhammo — Jul 5
Musk Twitter — Yan Wu — Jul 5 · 1
Ueda's Attractor — Ricky Reusser — Jun 23 · 21
Base16 Color Scheme Generator — Julia Evans — Jun 29
MULTI LINE WITH TOOLTIP & COLOR & SLIDER — Visualización • Francisco Saldivar — Jul 3
go-cart-wasm library — Nicolas Lambert — Jun 30 · 3

© 2023 Observable, Inc. Privacy Terms of Service