SYMPOSIUM
ENERGIEINNOVATION 2024

pv4eag

FH JOANNEUM University of Applied Sciences

TU Graz

CAMPUS 02 GRAZ
FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

dwh
technical solutions
simulation services

ENERGIE AGENTUR Steiermark

MARLENE LOIDL, MSC.

ALTERNATIVE PHOTOVOLTAIKPOTENZIALE

FFG
Forschung wirkt.

pv4eag

PV4EAG- Projektvorstellung

- Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz: Ausbau der **Photovoltaik-Kapazitäten auf 11 TWh bis 2030**

- Projektziel: **Identifikation & Darstellung alternativer PV-Flächenpotenziale in ausgewählten Testgebieten**
  - PV auf Verkehrsflächen & Lärmschutzwänden
  - Gebäudeintegrierte PV (Fassadenanlagen)
  - Floating PV
  - Agri PV (horizontale Anlagen auf Weingärten)

- Ergebnisse sollen **Entscheidungshilfe für mögliche Projektentwicklung** darstellen und als **Basis für konkrete Umsetzungsplanung** dienen

FH JOANNEUM University of Applied Sciences · TU Graz · CAMPUS 02 Fachhochschule der Wirtschaft · dwh technical solutions simulation services · Energie Agentur Steiermark · FFG Forschung wirkt.

pv4eag

Flächenpotenzialanalyse

Auswahl der Testgebiete

- Auswahl von **7 Testregionen in der Steiermark**

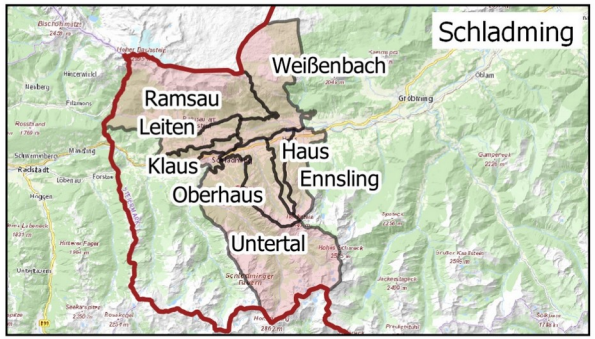
- **Aussagekraft und Repräsentanz** gewährleistet durch:
  - Flächenabdeckung der Testgebiete von **min. 5% der Steiermark**
  - ca. 820 km²

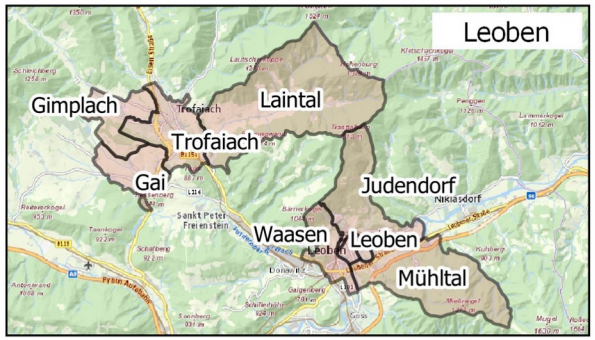
- Flächenauswahl auf Katastralgemeindeebene **proportional zur Urban-Rural-Typologie** der Steiermark

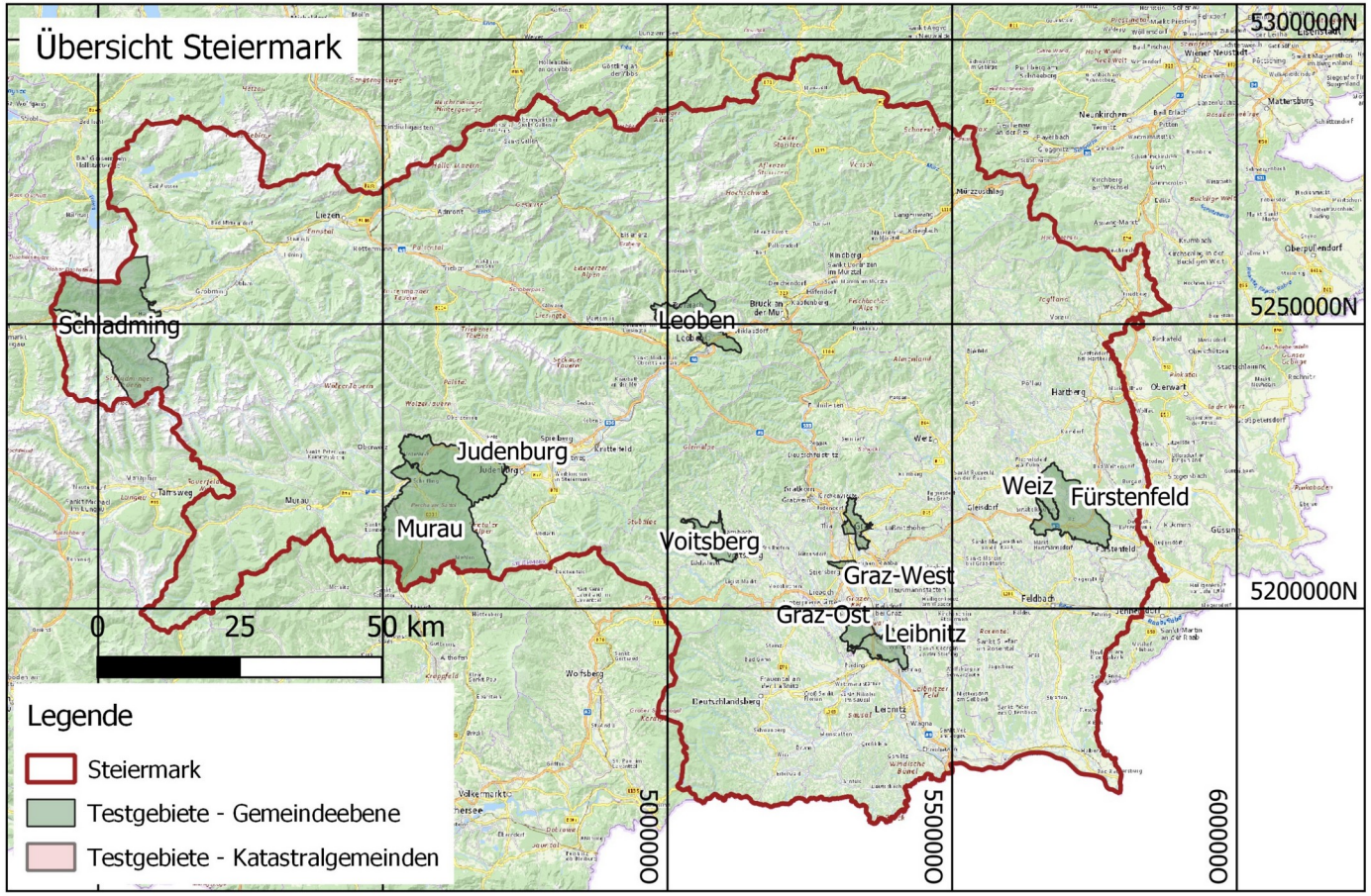
pv4eag - Testgebiete

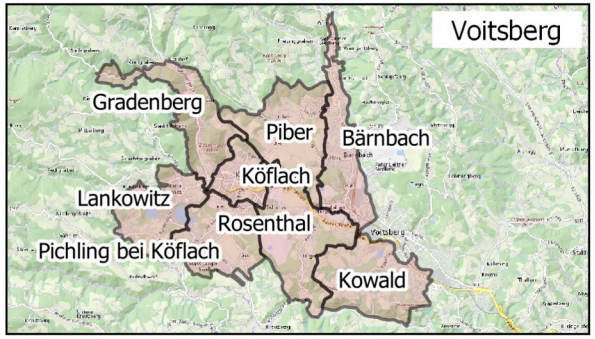
Datenquellen: GIS Steiermark, Geoland
EPSG: 32633

Kartenautor: F. Hübl TUG
Datum: 09.09.2022









pv4eag

Flächenpotenzialanalyse

Methodik

GEODATEN der Steiermark

- Frei verfügbar:
  - Gebäude (ALS Gebäudemaske)
  - Landnutzung (OpenStreetMap, Digitales Kataster Modell, INVEKOS)
  - Geschützte Gebiete (Ramsar, EU, Naturschutzgebiete etc.)
  - Geländemodelle (DTM and DSM)
  - Solarstrahlungsdaten
  - ...
- Beschränkter Zugang oder kostenpflichtig:
  - 3D Gebäude der Stadt Graz
  - Bodenschätzungsdaten
  - Lärmschutzwände

Analyse der PV-Kriterien

Literatur Durchsicht & **Expertenwissen** (Interviews und Workshop)

Spezifikation von Kriterien (pro PV-Typ) und ML-Features

aus der Literatur und vorläufigen wissenschaftlichen Erkenntnissen, Experteninterviews und Workshop-ergebnissen

Filtern ungeeigneter Flächen

mittels binärer Maske bestehend aus Flächen wie z.B. geschützten Landschaftsteilen und ungeeigneten Landnutzungsklassen

Analyse der Testgebiete

Multi-Kriterien Analyse

HORIZONTALE PV-Typen:
- Parkplatz Überdachungen
- Floating PV
- Agrar-Doppelnutzung (Agri-PV)

VERTIKALE PV-Typen:
- Gebäudeintegriert (GIPV)
- auf Lärmschutzwänden

Machine Learning Ansatz zur Bestimmung von Schattenflächen und -tiefe

GEODATENBANK

Frei verfügbare Ergebnislayer der Testgebiete mit Flächeneignungsklassen

pv4eag

Flächenpotenzialanalyse

Daten und Kriterien

Allgemein:

- **Digitale Höheninformation** als 1x1m² Raster
  - Oberflächenmodell, Geländemodell, Ausrichtung & Steigung des Geländes
- **Solarstrahlung**
  - Langzeitmesswerte der Globalstrahlung (SOLARGIS: 250x250m² Raster)
  - Generiertes Solarpotenzial unter Berücksichtigung des Geländes (1x1m² Raster)
- **Verschattung**
- **Schutzzonen und –gebiete**
  - Wildbach- und Lawinenschutzzonen; Schon- und Schutzgebiete...
- **Abstand zu besiedeltem Gebiet ca. 500m**

Das Land Steiermark

SOLARGIS

data.gv.at

pv4eag

Flächenpotenzialanalyse

Daten und Kriterien

Spezifische Kriterien je PV-Typ:

- **Definition der Basisflächen**
  - Parkplätze: Flächennutzung des Digitalen Kataster Modells, OpenStreetMap
  - GIPV: ALS Gebäudemaske, Gebäude der Stadt Graz
  - Lärmschutzwände: Daten des Landes Steiermark, ASFINAG und ÖBB
  - Floating PV: Seen und Teiche
  - Agri PV: INVEKOS Feldstücke
- **Bewertung der Flächen**
  - Ausrichtung
  - Mindestflächen, -längen, -höhen und -Abstände
  - Attributwerte der Datensätze z.B. Typ, Zweck, Bebauungsart, Bodenqualität

Das Land Steiermark

OpenStreetMap

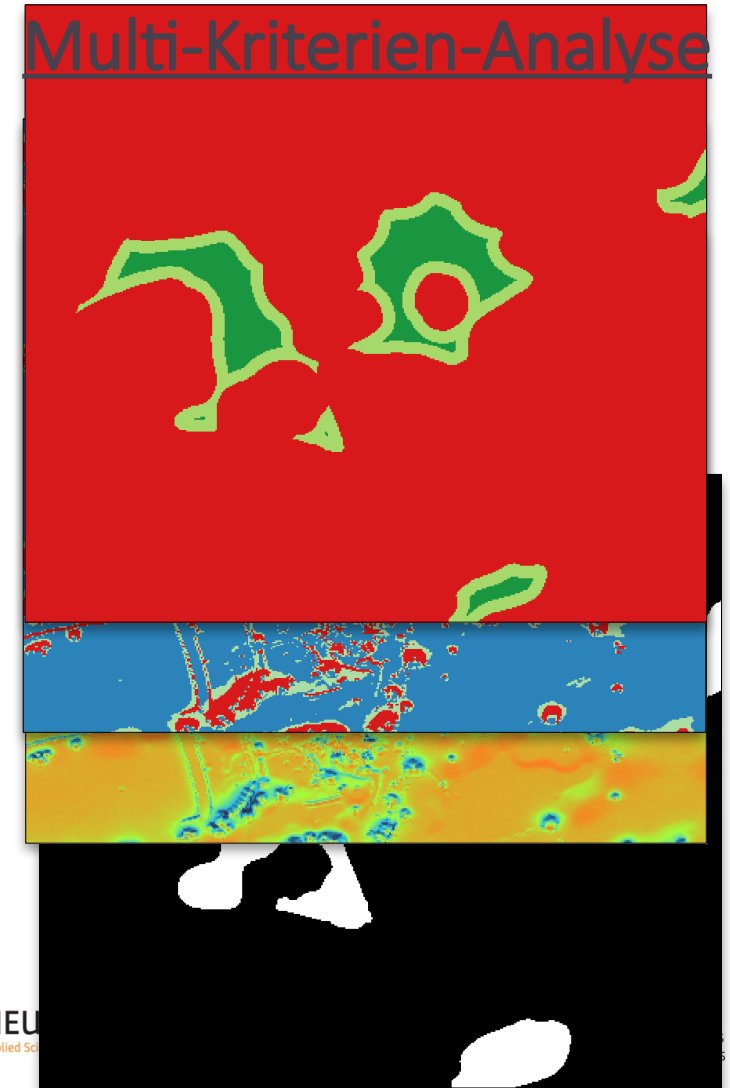
GRAZ

ASFINAG

ÖBB

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

Flächenpotenzialanalyse



- **Gewichtete Kriterien** als Rasterdatensätze

→ Anteilmäßige Gewichtung und Aufsummierung

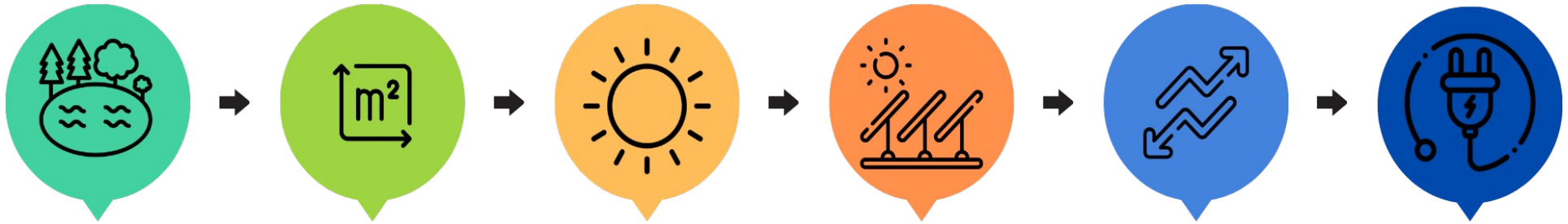
- **Binärmaske**

→ Multiplikation und Ausschluss gänzlich ungeeigneter Flächen

Flächeneignung als **Score (1-100%)**

pv4eag

Energiepotenzialanalyse- Methodik



FLÄCHENANALYSE

Nutzbare Fläche:

- Gewichtung Eignung (MCA)
- Bereiche (Randzonen, Verbotszonen, Nutzung)
- Anzahl und Größe der PV Flächen

FLÄCHEN-NUTZUNGSGRAD

PV-Typ:

Unterscheidung:

- versiegelte Flächen
- künstliche Gewässer
- Fassaden
- Lärmschutz-wände
- Agrarflächen

STRAHLUNGS-INTENSITÄT

Solarstrahlung:

- Statistische Strahlungswerte (Global Solar Atlas)
- Bereitgestellt durch das Flächenpotential in QGIS

AUFSTELLUNGS-FAKTOR

Berechnungsansatz:

- Energieertrag im Vergleich zur horizontalen Fläche
- Abhängig von der jeweiligen Ausrichtung und Neigung
- Heatmap für 7 Testgebiete berechnet

TECHNOLOGIE-VERGLEICH

Modul-Typ:

- Monofazial/ Bifazial
- Transparenz
- Reihenabstand
- Aufständerung
- Modul-konfiguration
- Kühlung
- Verschattung

ENERGIEPOTENTIAL

Ergebnis:

- Erwartungswert für durchschn. Anlagen
- Leistung in kWp
- Energieertrag in kWh/a
- Grafische Darstellung und Kategorisierung

pv4eag

Energiepotenzialanalyse

Szenarien- Beispiel Agrar-PV-Anlage

- **Verwendete Basisdaten**
  - **Flächenneigung, -nutzung und Strahlung**
  - Aufstellung: **Orientierung, Hangneigung, Form des Grundstücks**

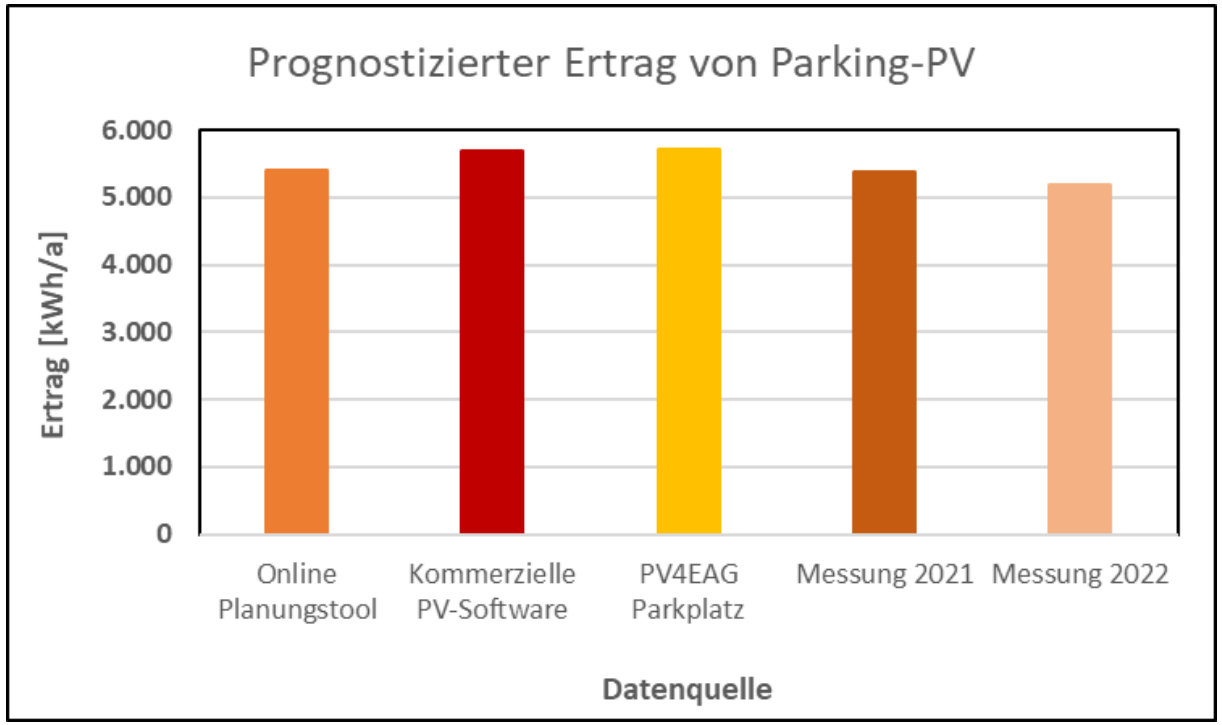
- **Szenarien**
  - **Ost-West / Süd**: Neigung und Reihenabstand
  - **Transparenz** der Module
  - Variation von minimaler **Flächengröße (1000m²) und Flächeneignung (75%)** aus Multikriterienanalyse **(Verschattung, Randabstand udgl.)**

pv4eag

Energiepotenzialanalyse

Vergleich Simulation / Berechnung und Messung

- **PV-Carport an der FH JOANNEUM in Kapfenberg**
  - 18 bifaziale 300W Module (5,4kWp)



pv4eag

Energiepotenzialanalyse

Berechnungsformel- Fassadenanlagen

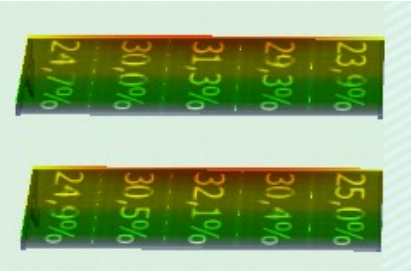
- $P = A_{Polygon} \times FN \times \eta_{Modul}$
- $E = A_{Polygon} \times FN \times \eta_{Modul} \times GHI \times 365 \times AF \times \eta_{Anlage}$

- Legende:
  - P... Anlagenleistung [kWp]
  - E... Energiepotenzial [kWh/a]
  - GHI... Globalstrahlungsenergie [kWh/m²/Tag]
  - $A_{Polygon}$... Polygonfläche/Sunarea/von der Sonne beschienene Fassadenfläche [m²]
  - FN... Flächennutzungsgrad [%]
  - η_{Modul}... Spez. Leistung der Module [kWp/m²]
  - AF... Aufstellungsfaktor []
  - η_{Anlage}... Anlagenwirkungsgrad [%]

Energiepotenzialanalyse

Aufstellungswinkel bei Fassadenanlagen/GIPV

Aufstellungswinkel Reihenabstand	90° 0 m	60° 0,5 m	60° 1 m	60° 1,5 m	75° 0,5 m	75° 1,0 m
Anlagenleistung [kWp]	48,80	42,70	33,55	27,45	36,60	30,50
Spez. Ertrag [kWh/kWp]	820	554	743	844	676	874
Jahresertrag [kWh/a]	40.017	23.839	25.061	23.321	24.988	26.817



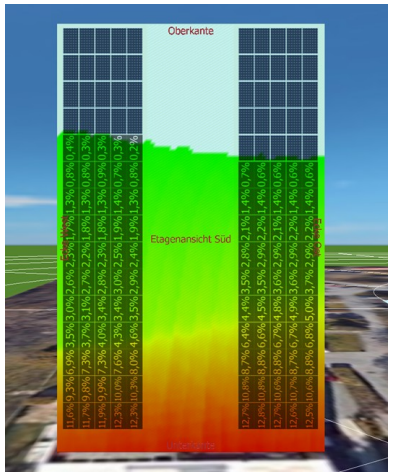
Fazit:

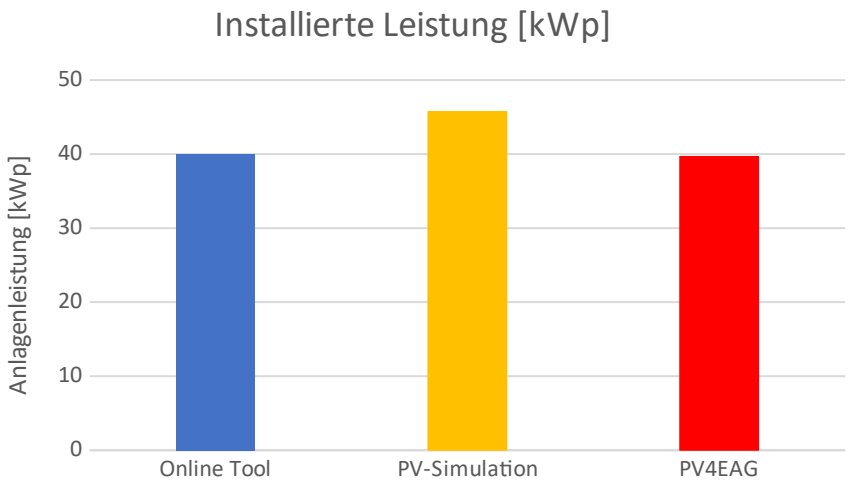
- Neigung häufig kontraproduktiv
- Hohe Schattenverluste im Sommer
- Erhöhter Reihenabstand notwendig

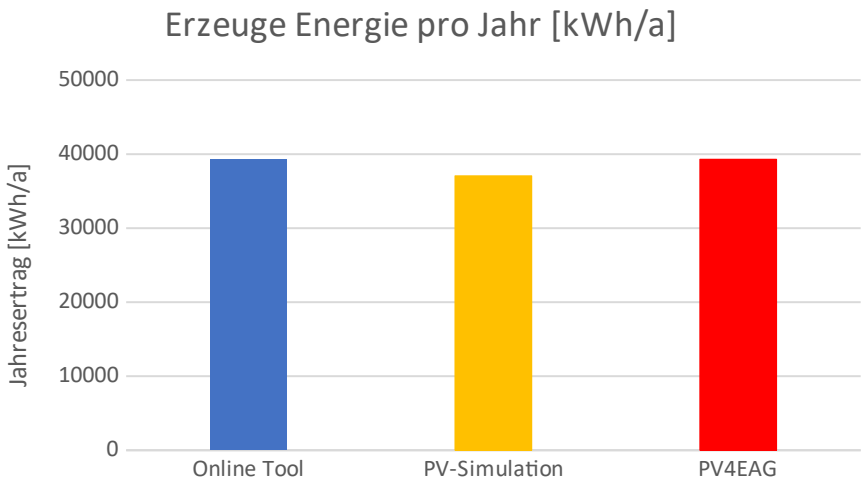
Energiepotenzialanalyse

Mittlerer Energieertrag- Vergleich

- **Beispiel: Wohnhaus mit Südfassade und Balkon**
- **Online Planungstool:** Fassade / GIPV
- **Kommerzielle PV-Software:** Fassade / GIPV
- **PV4EAG:** Berechnung mit Flächenauslastung 50 %







fid	108
weight_binary	
weight_mean	97,5487822531593
weight_stdev	2,6274946767489284
weight_min	79,16666412353516
weight_max	100
SP_JS_mean	1052,7901570635192
SP_JS_stdev	63,74488205887118
SP_JS_min	214,19900512695313
SP_JS_max	1106,9659423828125
DIF_mean	567,2329711914063
DNI_mean	1138,1190185546875
GHI_mean	1192,176025390625
area	7196,174
area_2	7192
perimeter	666

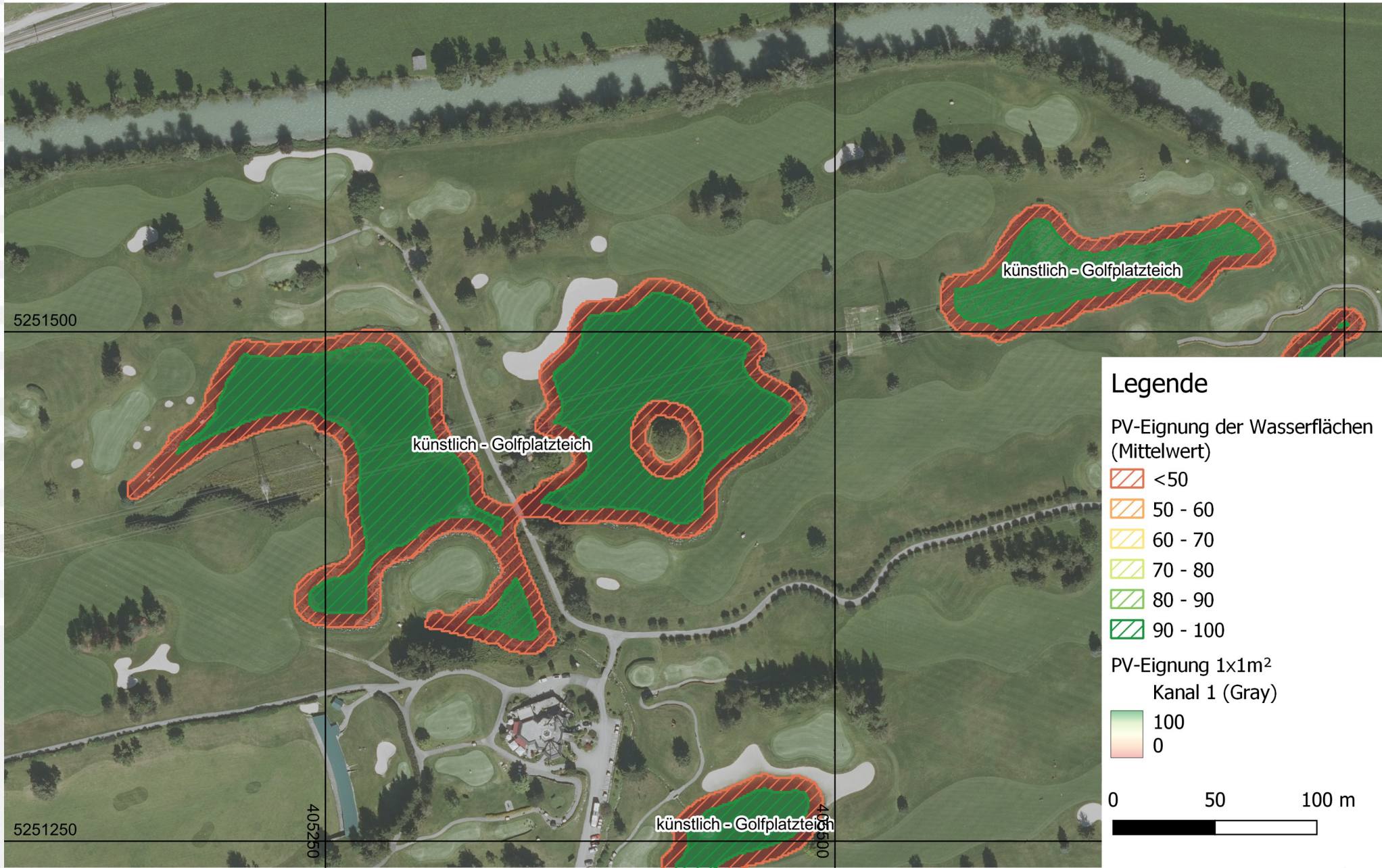
pv4eag

Beispielergebnis der Flächenpotentialanalyse für Floating-PV im Testgebiet Schladming

Datum: 28.04.2023
Autor: F. Hübl TUG

EPSG: 32633
Basisdaten: GIS Steiermark
Datenquelle Orthofoto: GIS Steiermark

N



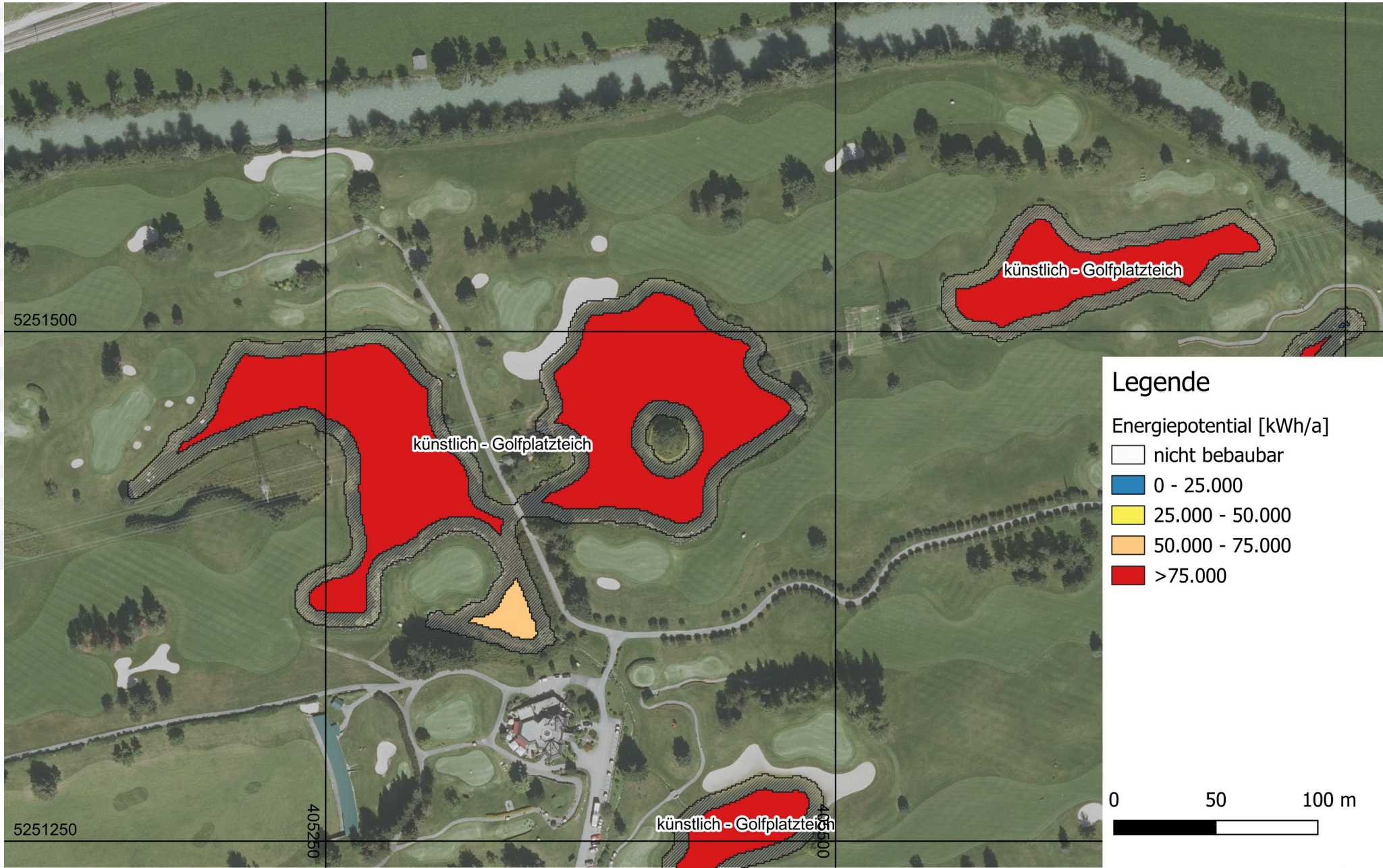
Beispielergebnis der Energiepotentialanalyse für Floating-PV im Testgebiet Schladming

Datum: 05.09.2023

EPSG: 32633
Basisdaten: GIS Steiermark
Datenquelle Orthofoto: GIS Steiermark

N

fid	108
weight_binary	
weight_mean	97,5487822531593
weight_stdev	2,6274946767489284
weight_min	79,16666412353516
weight_max	100
SP_JS_mean	1052,7901570635192
SP_JS_stdev	63,74488205887118
SP_JS_min	214,19900512695313
SP_JS_max	1106,9659423828125
DIF_mean	567,2329711914063
DNI_mean	1138,1190185546875
GHI_mean	1192,176025390625
area	7196,174
area_2	7192
perimeter	666
performance_potential	755,59827
energy_potential	915768,532344578
energy_potential_weighted	915768,532344578



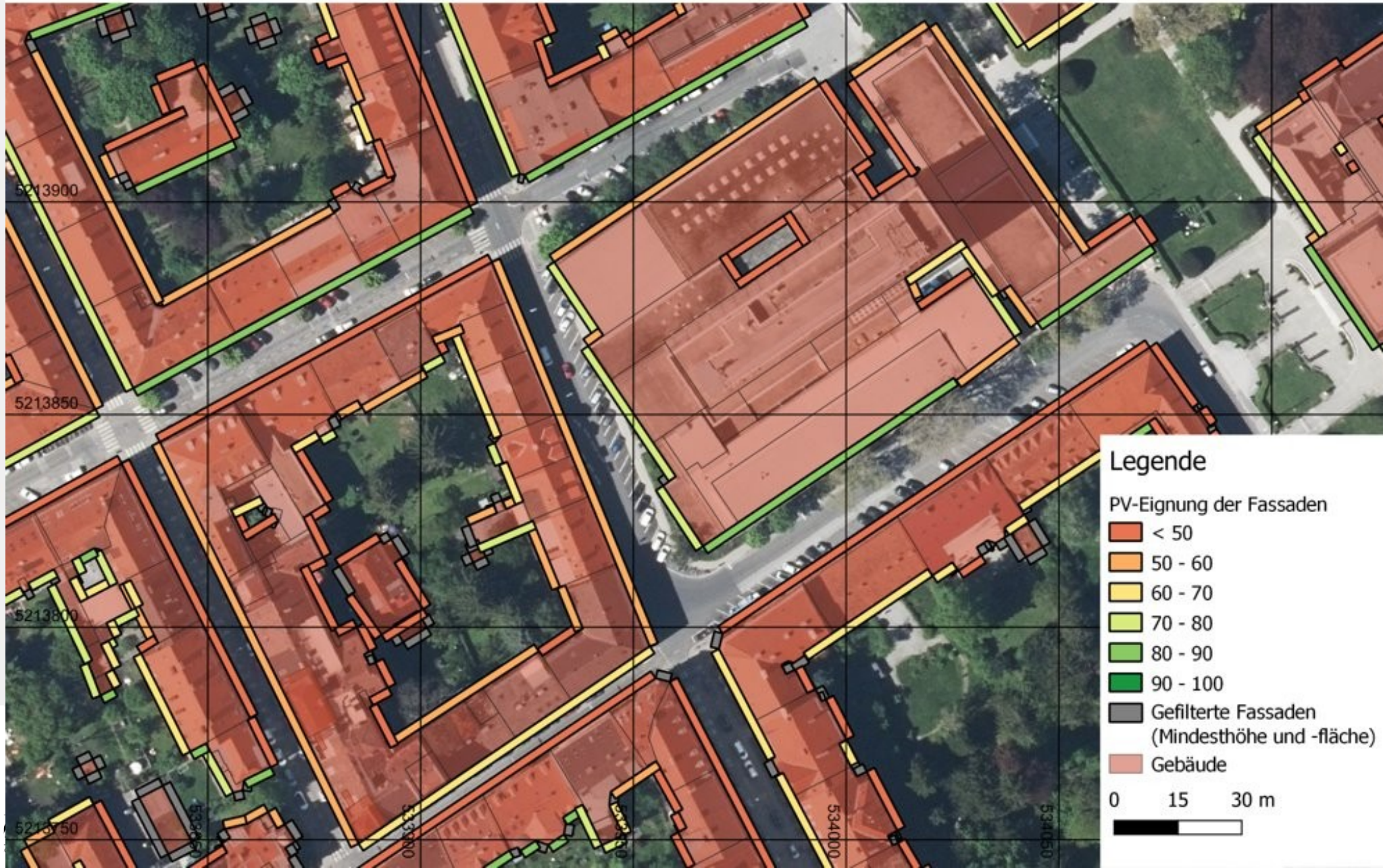
Index	247774
id	538186
dissolved_id	42244
facade_id	320687
southness_indicator	0,15813171054606(
length	88,7956730796815
weighted_avg_height	14,1551830804695⁴
facade_area	1256,919009196412
mean_shadow	-7,21654796600341
GHI	3,40499997
DIF	1,63999999
DNI	3,22600007
shadow_area	640,7982339530801
sun_area	616,120775243332ᵉ
shadow_area_perc	0,509816646311015
sun_area_perc	0,490183353688984
southness_indicator_score	15,8131710546060ᵍ
sun_area_perc_score	49,01833536889841
facade_area_score	100
total_score	47,47546896915011
wid_class	0

Beispielergebnis der Flächenpotentialanalyse für Gebäudefassaden im Testgebiet Graz

Datum: 28.04.2023
Autor: F. Hübl TUG

EPSG: 32633
Originaldaten Gebäude: Stadt Graz
Datenquelle Orthofoto: GIS Steiermark

N



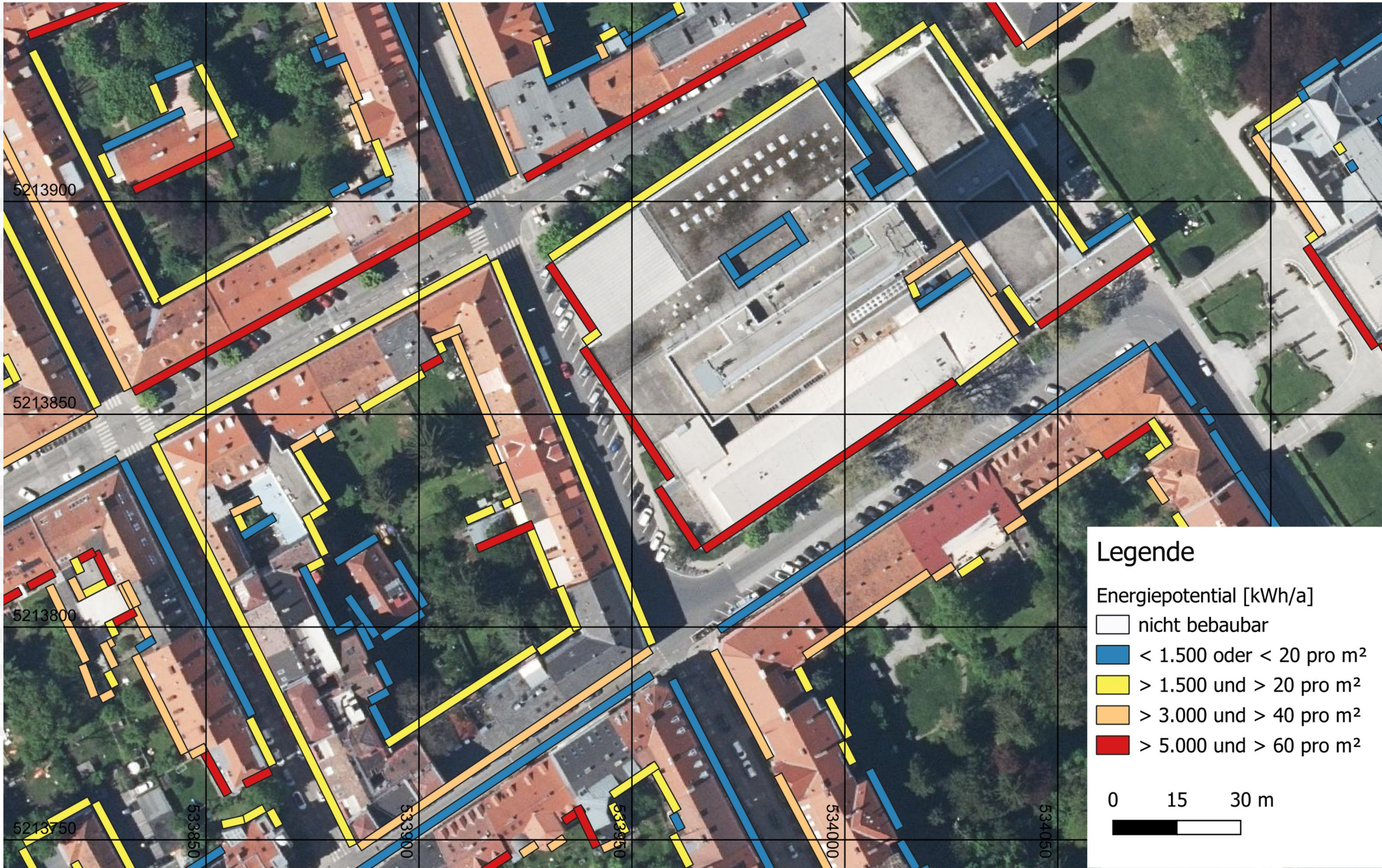
Beispielergebnis der Energiepotentialanalyse für Gebäudefassaden im Testgebiet Graz

Datum: 20.10.2023

EPSG: 32633
Originaldaten Gebäude: Stadt Graz
Datenquelle Orthofoto: GIS Steiermark

N

Index	247774
id	538186
dissolved_id	42244
facade_id	320687
southness_indicator	0,15813171054606098
length	88,7956730796815
weighted_avg_height	14,155183080469547
facade_area	1256,9190091964128
mean_shadow	-7,216547966003418
GHI	3,40499997
DIF	1,63999999
DNI	3,22600007
shadow_area	640,7982339530801
sun_area	616,1207752433328
shadow_area_perc	0,5098166463110159
sun_area_perc	0,49018335368898414
southness_indicator_score	15,813171054606098
sun_area_perc_score	49,01833536889841
facade_area_score	100
total_score	47,47546896915011
wid_class	0
Aufstellungsfaktor	0,3806293624604929
performance_potential	55,450869771899946
energy_potential	26231,3490857587



fid	586
weight_binary	
weight_mean	93,3375156838143
weight_stdev	11,053208160585301
weight_min	75
weight_max	100
SP_JS_mean	944,6828254881588
SP_JS_stdev	88,23343352140579
SP_JS_min	701,052001953125
SP_JS_max	1167,760986328125
DIF_mean	602,727770309167
DNI_mean	1194,0677470987982
GHI_mean	1262,004561369811
aspect_mean	173,38215139534884
aspect_stdev	63,54875432815359
aspect_min	17,85687
aspect_max	355,6447
slope_mean	0,8887961465116277
slope_stdev	0,8711492941688823
slope_min	0,1109792
slope_max	3,51848
area	3987,715
area_2	3985
perimeter	684

pv4eag

Beispielergebnis der Flächenpotentialanalyse für Parkplatz-PV im Testgebiet Hartberg/Fürstenfeld

Datum: 28.04.2023
Autor: F. Hübl TUG

EPSG: 32633
Basisdaten: GIS Steiermark und OSM
Datenquelle Orthofoto: GIS Steiermark

N

Beispielergebnis der Energiepotentialanalyse für Parkplatz-PV im Testgebiet Hartberg/Fürstenfeld

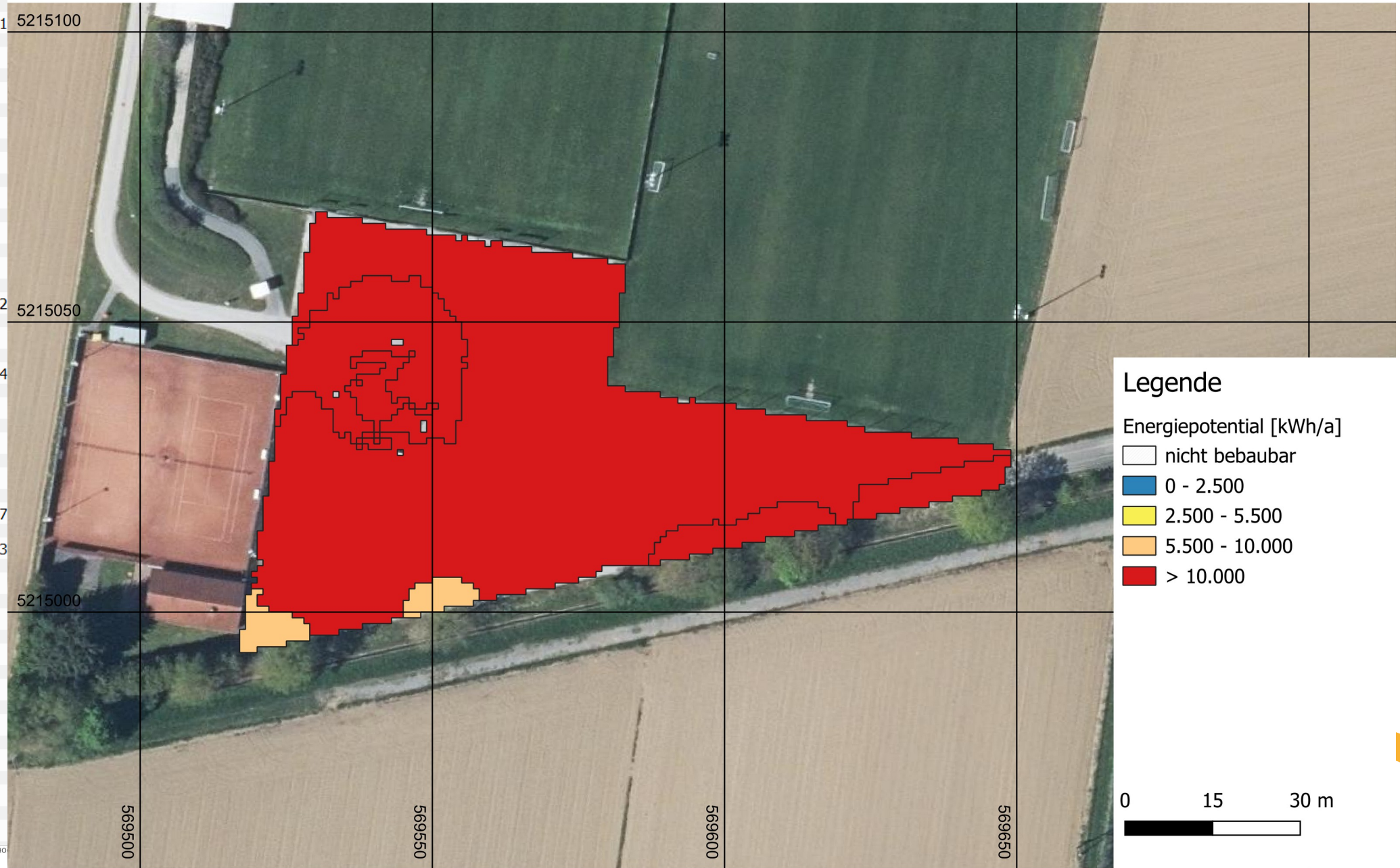
pv4eag

Datum: 11.10.2023

EPSG: 32633
Basisdaten: GIS Steiermark und OSM
Datenquelle Orthofoto: GIS Steiermark

N

fid	586
weight_binary	
weight_mean	93,3375156838143
weight_stdev	11,053208160585301
weight_min	75
weight_max	100
SP_JS_mean	944,6828254881588
SP_JS_stdev	88,23343352140579
SP_JS_min	701,052001953125
SP_JS_max	1167,760986328125
DIF_mean	602,727770309167
DNI_mean	1194,0677470987982
GHI_mean	1262,004561369811
aspect_mean	173,38215139534884
aspect_stdev	63,54875432815359
aspect_min	17,85687
aspect_max	355,6447
slope_mean	0,8887961465116277
slope_stdev	0,8711492941688823
slope_min	0,1109792
slope_max	3,51848
area	3987,715
area_2	3985
perimeter	684
performance_potential	358,65
energy_potential	452617,9359352827
energy_potential_weighted	452617,9359352827



Beispielergebnis der Flächenpotentialanalyse für Agrar-Doppelnutzung im Testgebiet Schladming

pv4eag

Datum: 28.04.2023
Autor: F. Hübl TUG

EPSG: 32633
Basisdaten: GIS Steiermark und OSM
Datenquelle Orthofoto: GIS Steiermark

N

fid	933
class	
weight_mean	92,46065532658784
weight_stdev	7,711432496237604
weight_min	78,4000015258789
weight_max	98,4000015258789
SP_JS_mean	863,9975710459796
SP_JS_stdev	195,56447715686556
SP_JS_min	333,4389953613281
SP_JS_max	1205,4339599609375
DIF_mean	604,0047842515835
DNI_mean	1173,3508177515841
GHI_mean	1256,3187684524055
aspect_mean	222,92319807692303
aspect_stdev	9,007587955984889
aspect_min	210,8406
aspect_max	251,3524
slope_mean	7,427624057692307
slope_stdev	0,7703727760200904
slope_min	5,625334
slope_max	9,011749
area	5081,359
area_2	5078
perimeter	416
energy_potential	326787,9098519367

Legende

agrar_Fuerstenfeld_result_3cl

- Grünland <= 50
- Grünland 50 - 60
- Grünland 60 - 70
- Grünland 70 - 80
- Grünland 80 - 90
- Grünland 90 - 100
- Ackerland <= 50
- Ackerland 50 - 60
- Ackerland 60 - 70
- Ackerland 70 - 80
- Ackerland 80 - 90
- Ackerland 90 - 100
- Weingarten <= 50
- Weingarten 50 - 60
- Weingarten 60 - 70
- Weingarten 70 - 80
- Weingarten 80 - 90
- Weingarten 90 - 100

agrar_Schladming_weighted
Kanal 1 (Gray)
100
50

0 40 80 m

FH JOANNEUM University of Applied Sciences
TU Graz

Beispielergebnis der Energiepotentialanalyse für Agrar-PV im Testgebiet Fürstenfeld

pv4eag

Datum: 14.11.2023

EPSG: 32633
Basisdaten: GIS Steiermark und OSM
Datenquelle Orthofoto: GIS Steiermark

N

fid	933
class	
weight_mean	92,46065532658784
weight_stdev	7,711432496237604
weight_min	78,4000015258789
weight_max	98,4000015258789
SP_JS_mean	863,9975710459796
SP_JS_stdev	195,56447715686556
SP_JS_min	333,4389953613281
SP_JS_max	1205,4339599609375
DIF_mean	604,0047842515835
DNI_mean	1173,3508177515841
GHI_mean	1256,3187684524055
aspect_mean	222,92319807692303
aspect_stdev	9,007587955984889
aspect_min	210,8406
aspect_max	251,3524
slope_mean	7,427624057692307
slope_stdev	0,7703727760200904
slope_min	5,625334
slope_max	9,011749
area	5081,359
area_2	5078
perimeter	416
energy_potential	326787,9098519367

Legende

Energiepotenzial [kWh/a]

- Weingarten <150k
- Weingarten 150k-320k
- Weingarten 320k-840k
- Weingarten >840k

0 40 80 m

FH JOANNEUM University of Applied Sciences
TU Graz
CAMP FACHHOCHSCHU

weight_mean	91,45404952009261
weight_stdev	8,770360641789221
weight_min	70
weight_max	100
SP_JS_mean	840,7744113252569
SP_JS_stdev	197,2051217290504
SP_JS_min	39,250999450683594
SP_JS_max	1213,97705078125
DIF_mean	604,6405308472015
DNI_mean	1176,4135067049767
GHI_mean	1256,771293630677
aspect_mean	232,5039244372991
aspect_stdev	18,467814116717445
aspect_min	191,2635
aspect_max	285,0206
slope_mean	3,071024091639872
slope_stdev	1,7018791426605338
slope_min	0,7996176
slope_max	9,093878
area	31162,623
area_2	31142
perimeter	1000
energy_potential	2004825,1954247383

pv4eag

Beispielergebnis der Energiepotentialanalyse für Agrar-PV im Testgebiet Fürstenfeld

Datum: 13.11.2023

EPSG: 32633
Basisdaten: GIS Steiermark und OSM
Datenquelle Orthofoto: GIS Steiermark

N

Legende

agrar_Fuerstenfeld_result_3

- Grünland <= 50
- Grünland 50 - 60
- Grünland 60 - 70
- Grünland 70 - 80
- Grünland 80 - 90
- Grünland 90 - 100
- Ackerland <= 50
- Ackerland 50 - 60
- Ackerland 60 - 70
- Ackerland 70 - 80
- Ackerland 80 - 90
- Ackerland 90 - 100
- Weingarten <= 50
- Weingarten 50 - 60
- Weingarten 60 - 70
- Weingarten 70 - 80
- Weingarten 80 - 90
- Weingarten 90 - 100

agrar_Schladming_weighted

Kanal 1 (Gray)

100
50

0 15 30 m

weight_mean	91,45404952009261
weight_stdev	8,770360641789221
weight_min	70
weight_max	100
SP_JS_mean	840,7744113252569
SP_JS_stdev	197,2051217290504
SP_JS_min	39,250999450683594
SP_JS_max	1213,97705078125
DIF_mean	604,6405308472015
DNI_mean	1176,4135067049767
GHI_mean	1256,771293630677
aspect_mean	232,5039244372991
aspect_stdev	18,467814116717445
aspect_min	191,2635
aspect_max	285,0206
slope_mean	3,071024091639872
slope_stdev	1,7018791426605338
slope_min	0,7996176
slope_max	9,093878
area	31162,623
area_2	31142
perimeter	1000
energy_potential	2004825,1954247383

pv4eag

Beispielergebnis der Energiepotentialanalyse für Agrar-PV im Testgebiet Fürstenfeld

Datum: 13.11.2023

EPSG: 32633
Basisdaten: GIS Steiermark und OSM
Datenquelle Orthofoto: GIS Steiermark

N

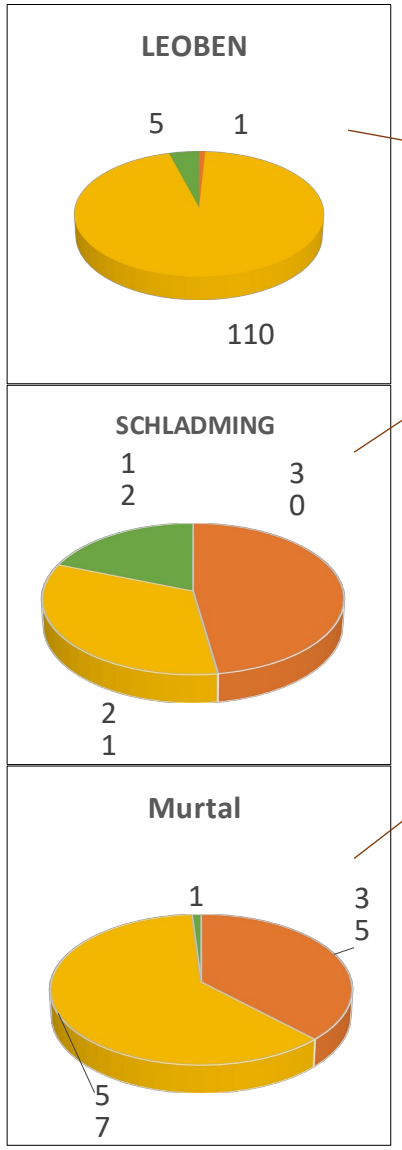
Legende

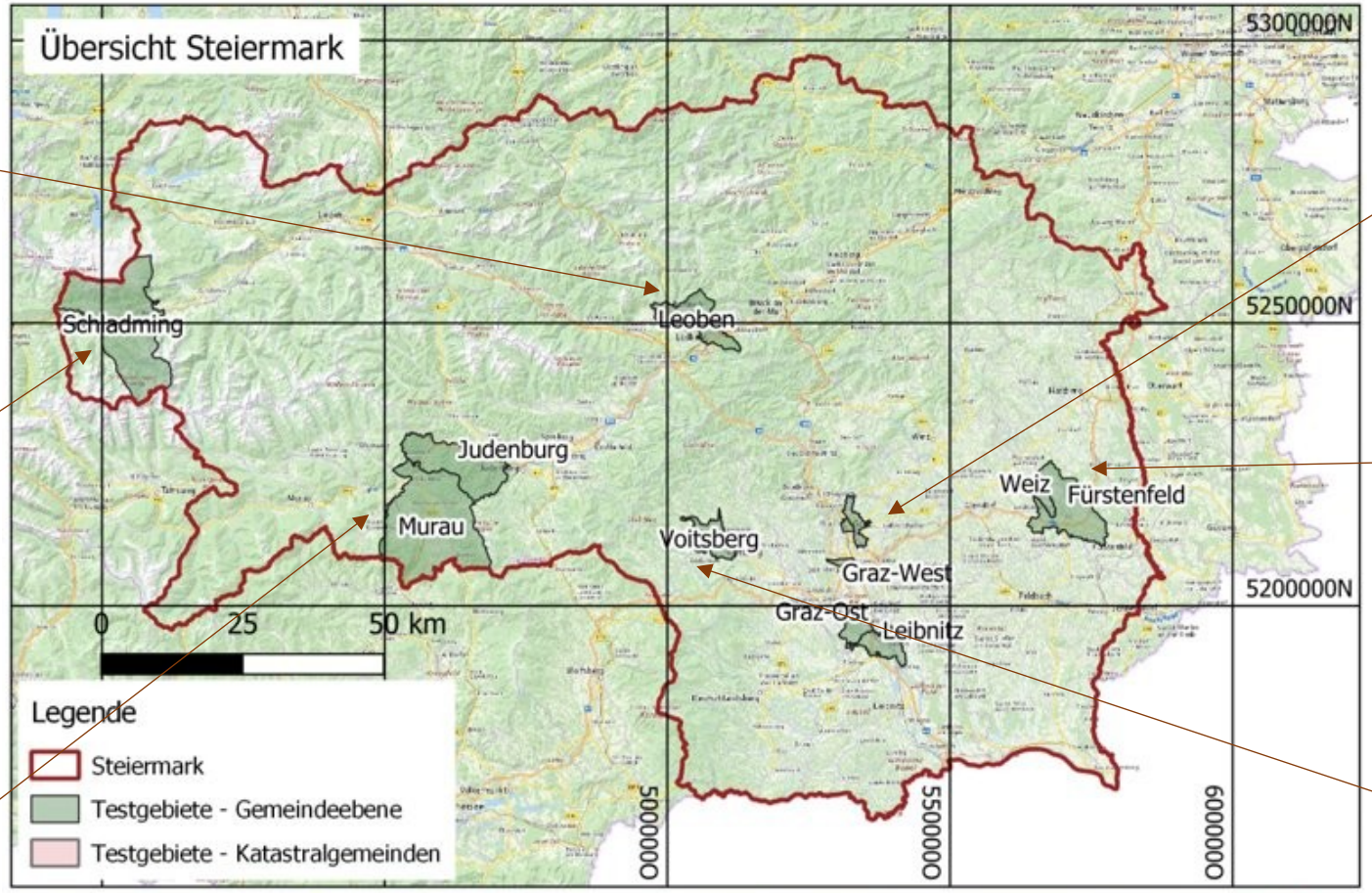
Energiepotential [kWh/a]

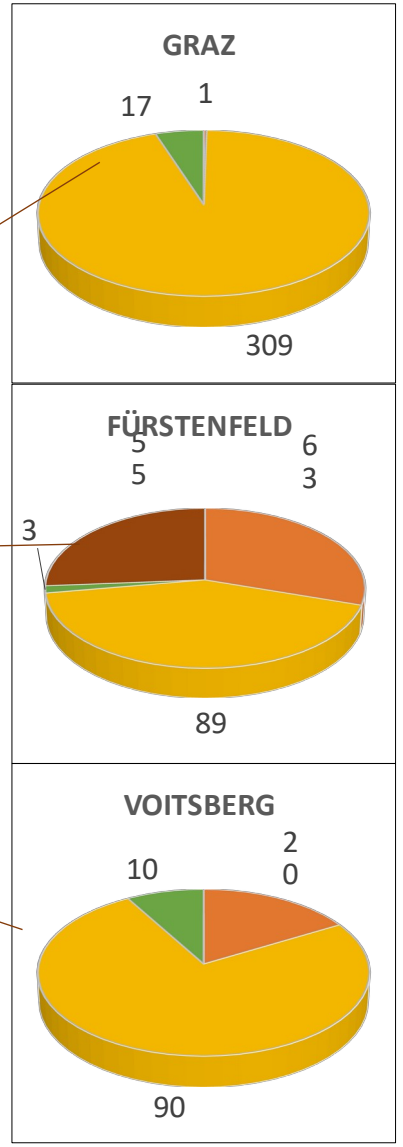
- Weingarten <150k
- Weingarten 150k-320k
- Weingarten 320k-840k
- Weingarten >840k

0 50 100 m

Leistung [MW]



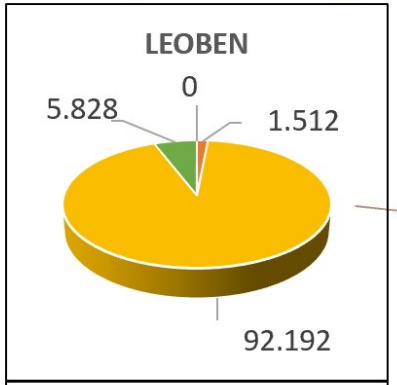


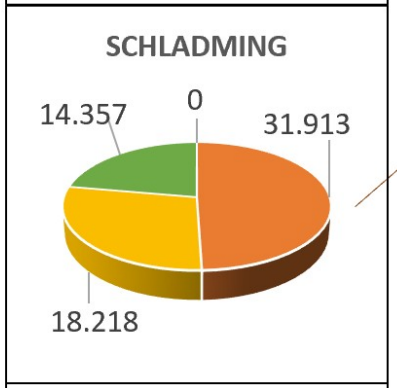


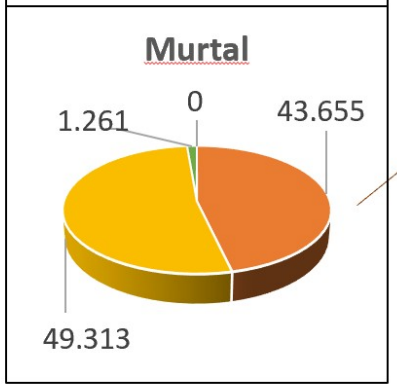
FPV GIPV

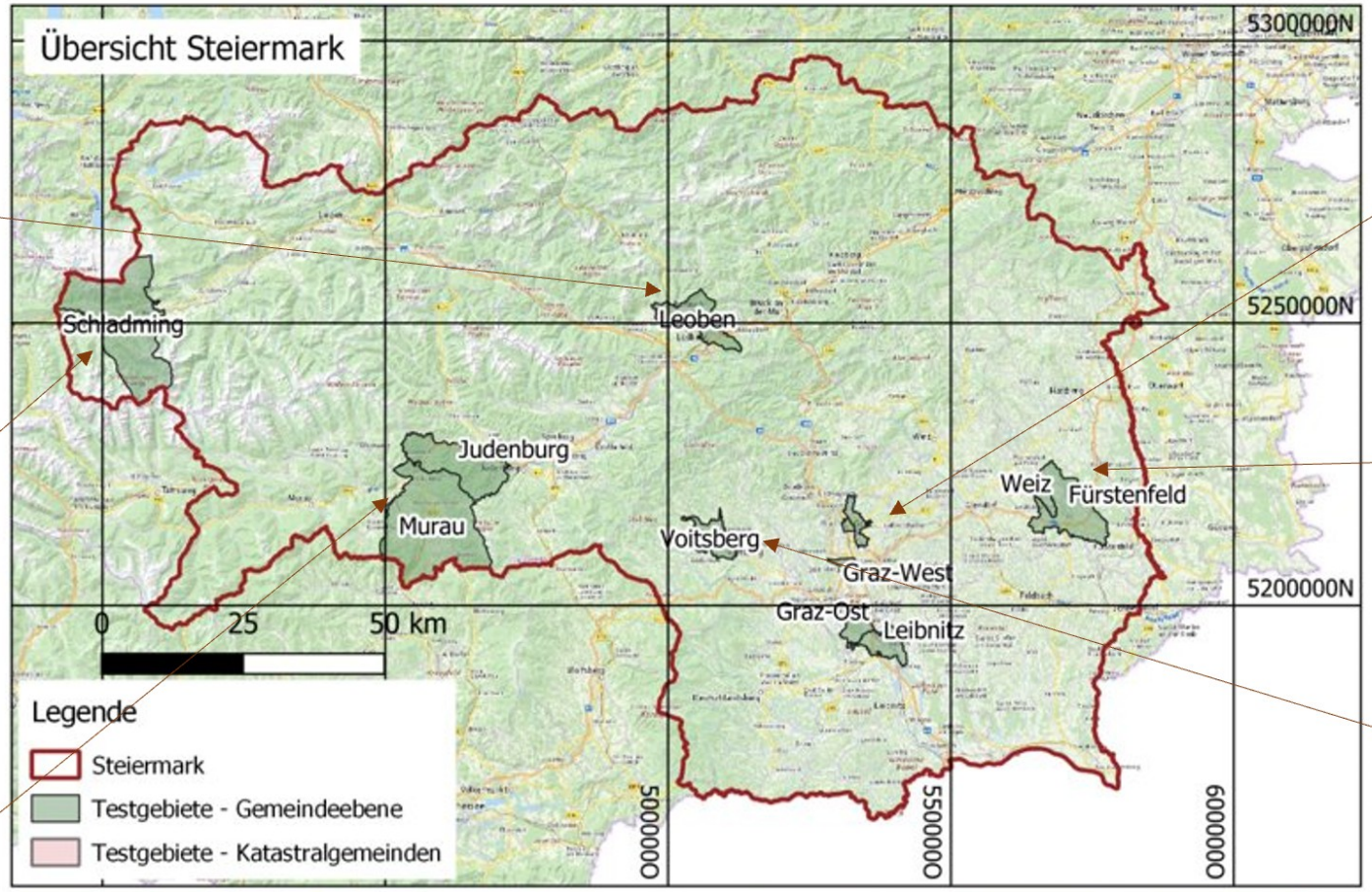
ParkingPV APV

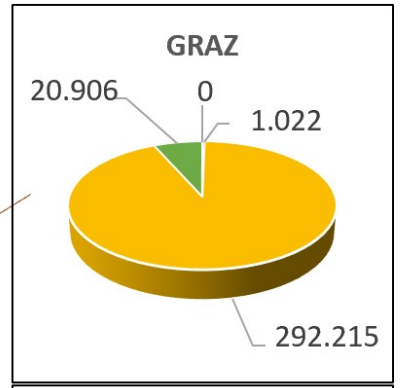
Energieertrag [MWh]

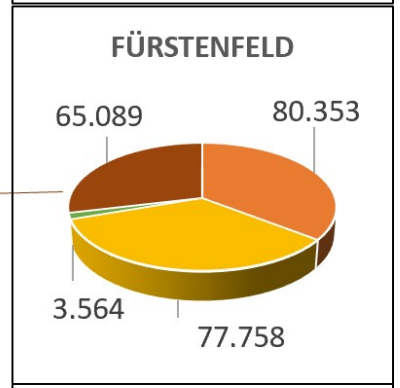


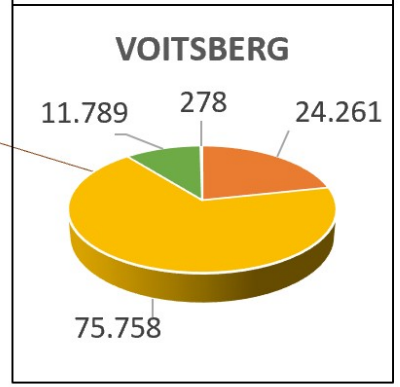








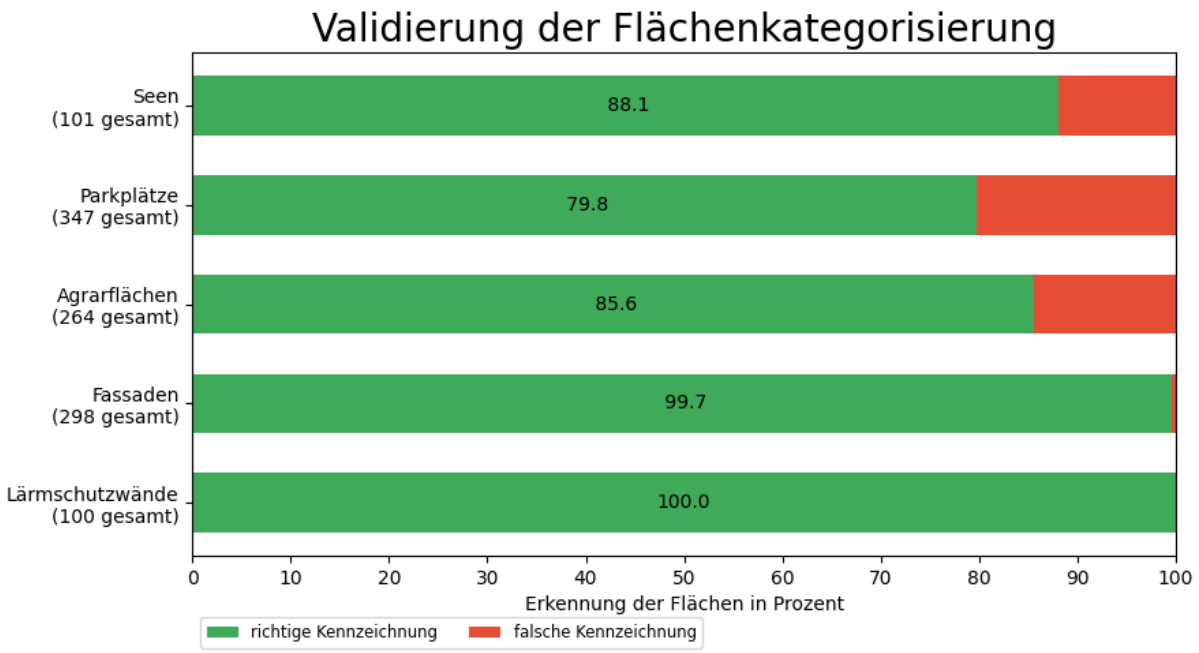




FPV GIPV ParkingPV APV

Validierung & Skalierbarkeit

- **Insgesamt 36 Quellen**
  - 13 kostenpflichtig oder Zugang an das Projekt gebunden
    - Lärmschutzwände (ÖBB, ASFINAG, Land) mit begrenztem Zugriff
    - 3D Fassaden mit höchsten Kosten



pv4eag

Herausforderungen

- **Datenakquise**: Verfügbarkeit, Zugang und Kosten
- **Flächenanalyse:** Zusammenführen unterschiedlicher Datensätze, Aktualität und Vollständigkeit der Daten
- **Energieanalyse:** Feinabstimmung bei jedem PV-Typ erforderlich, keine Vergleichsmessungen öffentlich zugänglich
- **Musterprojektierung:** keine Stromnetzdaten zugänglich, unzureichende Moduldaten (Sondertypen), diverse Annahmen erforderlich
- **Validierung/Verifikation:** Manuelle Validierung nötig, noch keine geeigneten Metriken bzw. Realdaten gefunden

pv4eag

Ausblick und nächste Schritte

- **Verifikation** der Berechnungen & Ergebnisse
- **Finalisierung der GIS-Layer**
- **Publikation der Ergebnisse**
  - Die Veröffentlichung des Datensatzes auf der Projektseite erfolgt nach Projektabschluss
- **Mögliches Folgeprojekt**
  - **Fokus auf Agrar- und Floating-PV Anlagen**
  - **Ergänzung fehlender Daten mit Hilfe von hochauflösenden Satellitenbildern**
  - **Ausrollung auf gesamtes Bundesgebiet**

SYMPOSIUM
ENERGIEINNOVATION 2024

pv4eag

FH JOANNEUM
University of Applied Sciences

TU Graz

CAMPUS 02 GRAZ
FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

dwh
technical solutions
simulation services

ENERGIE AGENTUR
Steiermark

DANKE

marlene.loidl@
fh-joanneum.at

FFG
Forschung wirkt.