



Fraunhofer
ISE

Solarbranchentag BW

PV-Freiflächen - Entwicklungen
Module, Kraftwerke, Anwendungen

**Anna Heimsath,
Ulli Kräling, Leonhard Gfüllner, Olliver Hörnle**

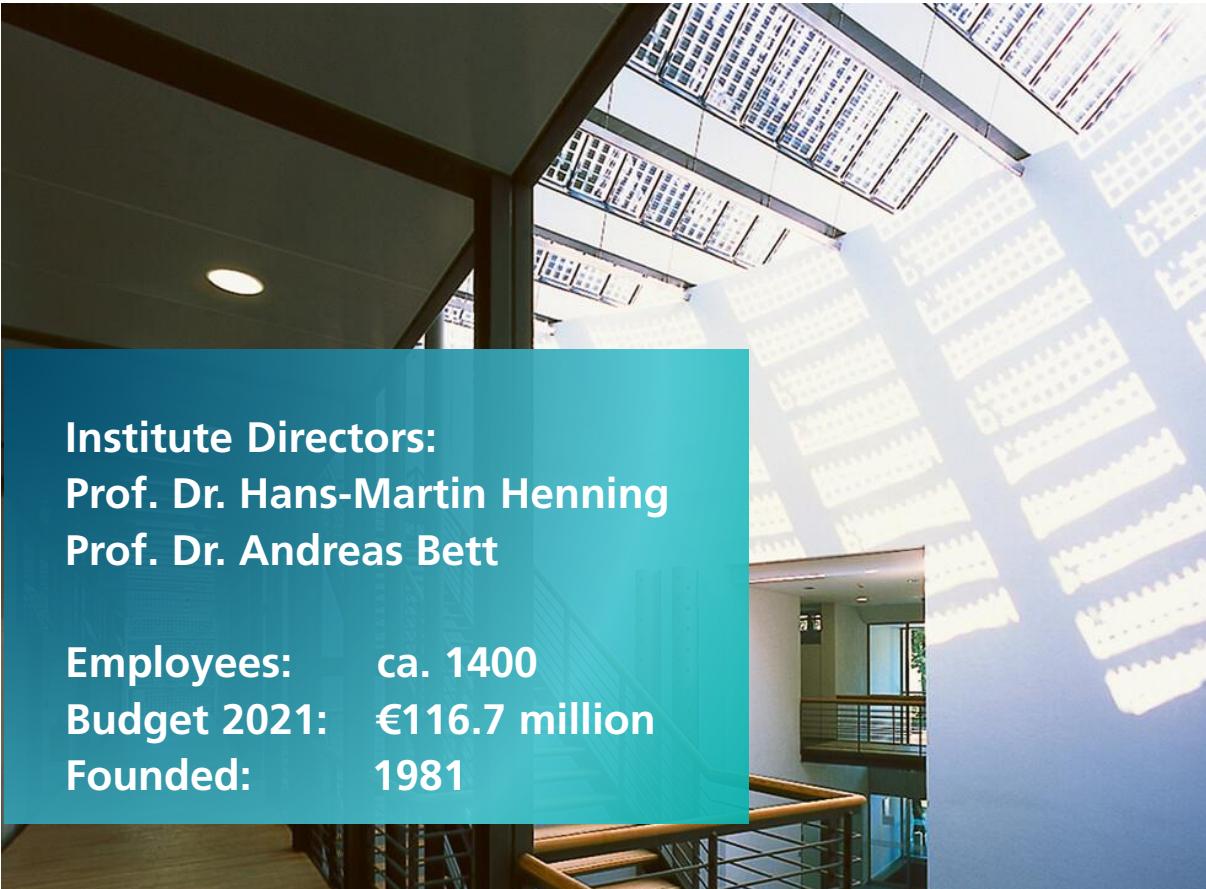
Head of Department AMK

28.09.2022

www.ise.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

At a Glance



Institute Directors:

Prof. Dr. Hans-Martin Henning
Prof. Dr. Andreas Bett

Employees: ca. 1400

Budget 2021: €116.7 million

Founded: 1981

Photovoltaics

Silicon Photovoltaics

III-V and Concentrator Photovoltaics

Perovskite and Organic Photovoltaics

Photovoltaic Modules and Power Plants

Energy Efficient Buildings

Solar Thermal Power Plants and Industrial Processes

Hydrogen Technologies and Electrical Energy Storage

Power Electronics, Grids und Intelligent Systems

Department Analysis, PV Modules and Power Plants

Fields of Research



PV Power Plants



Agrivoltaics



PV+ Forecasting



Integrated PV



PV Performance Lab



Digitalization and Sensors

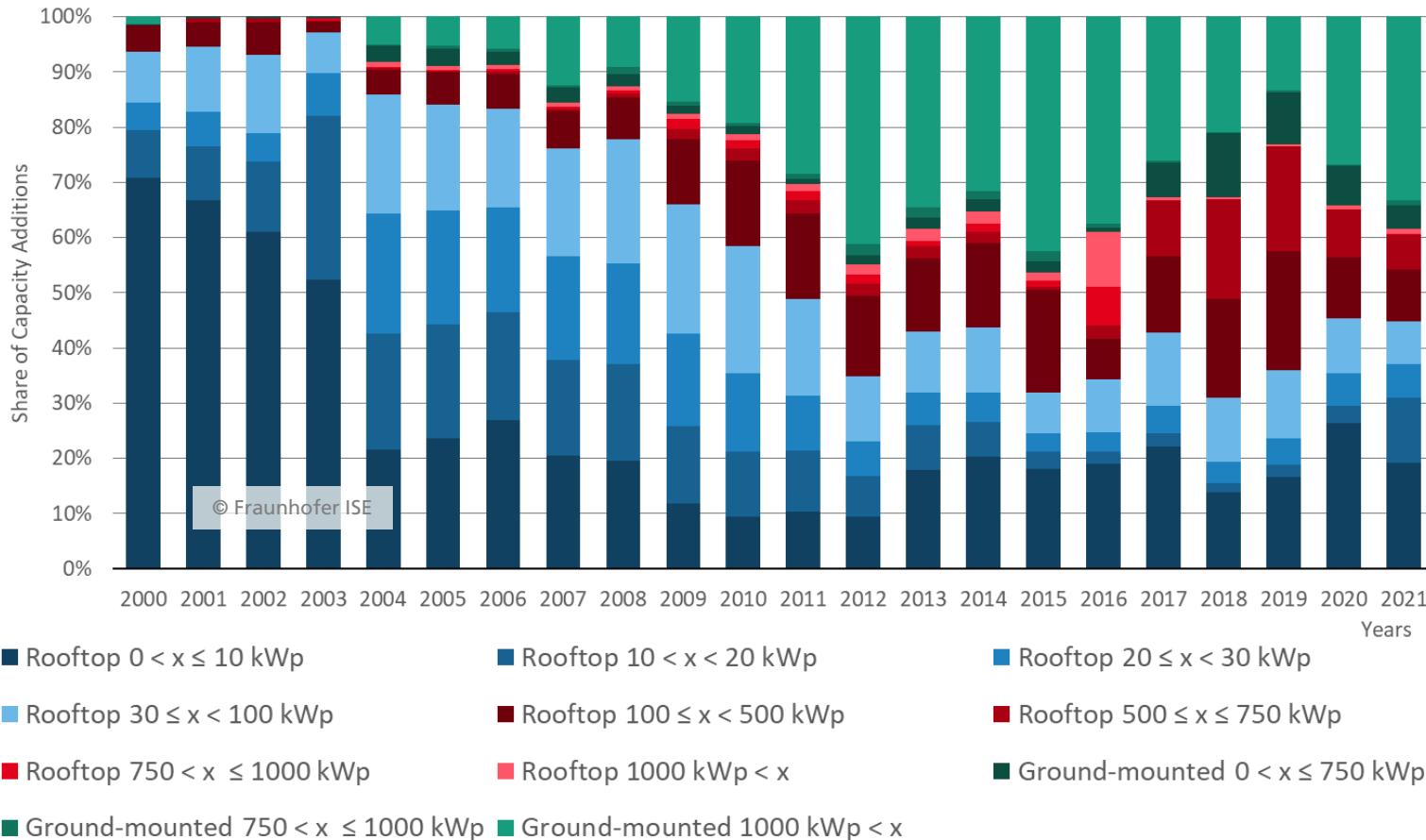


Sustainability and Climate Resilience



Annually Installed PV System Capacity in Germany

Percentage of Annual Capacity by System Size



The annual distribution of PV System size classes strongly depend on:

- Regulations
- Market incentives (like EEG)
- Tender procedures
- Bankability (trust of investors)

Source until year 2020: Fraunhofer ISE, own calculations based on EEG-master and -flow data (netztransparenz.de, Sept. 2021)

Source for year 2021: MaStR (05.07.2022)
+ Data validation algorithm

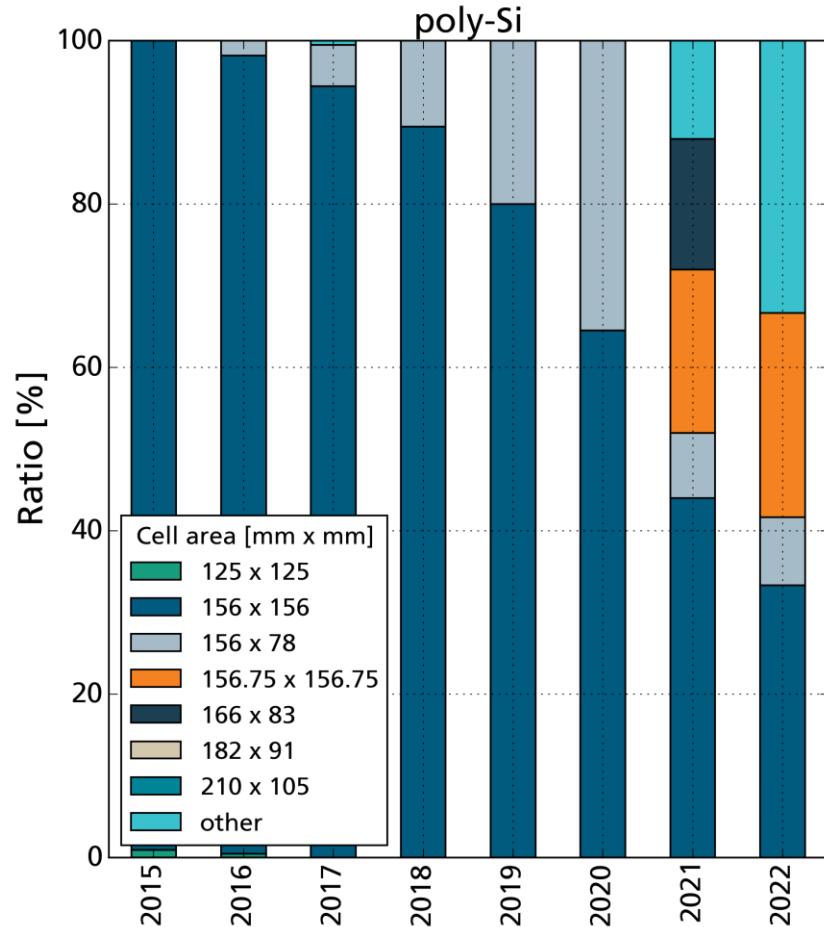
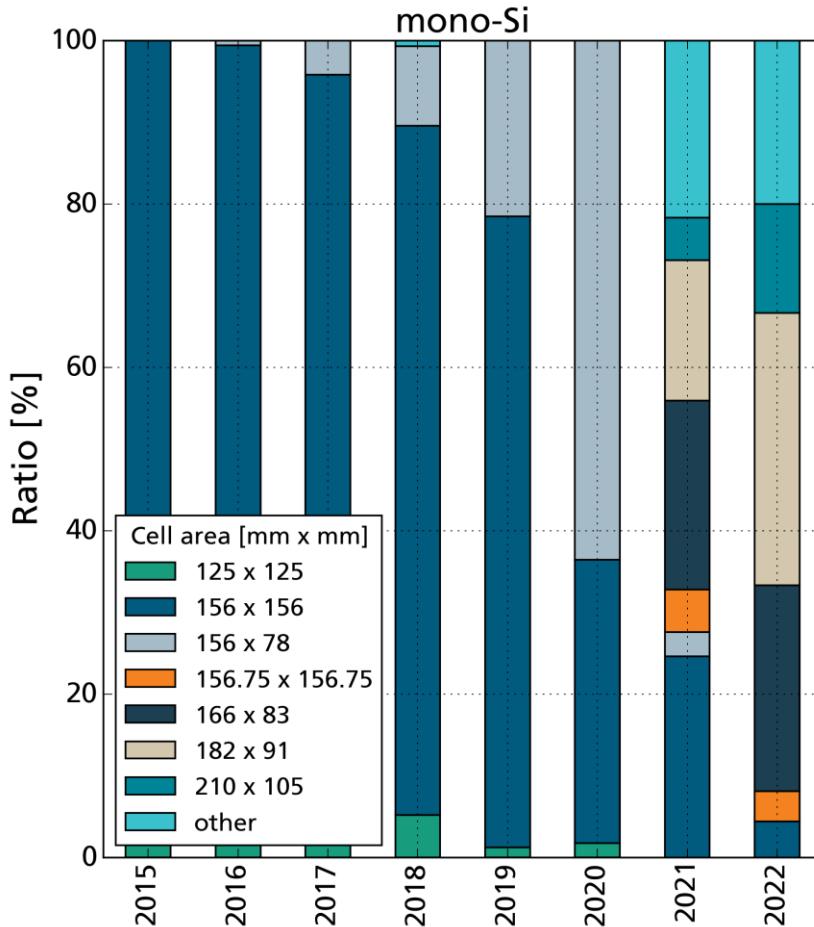


PV Module Trends

Cell Sizes

Mono-Si

- M0 (156 mm) wafers (full/half-cut) dominant until 2020
- Half-cut cells of larger wafers dominate now
 - M6 (166 mm)
 - M10 (182 mm)
 - M12 (210 mm)



Counts	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
mono-Si	128	186	169	154	158	170	134	135
poly-Si	208	219	198	152	90	79	25	12

PV Module Trends

STC Efficiency vs. Time

2012 – 2017

- Efficiency gain for mono-Si and poly-Si: ~0.4%/year
- Offset mono-Si: ~0.5%

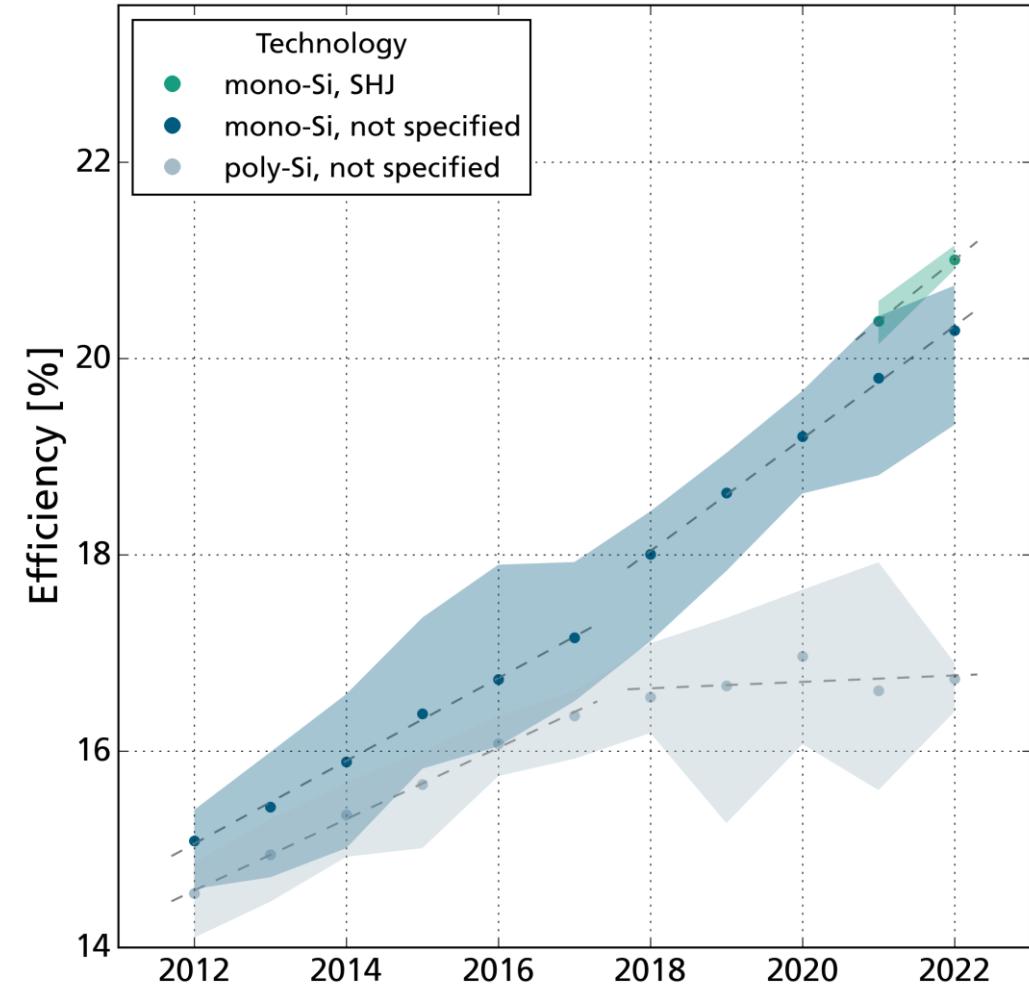
2017 – today

- Efficiency gain stopped for poly-Si
- Gain increased for mono-Si: ~0.6%/year

2021 – today

- Offset SHJ: ~0.6%

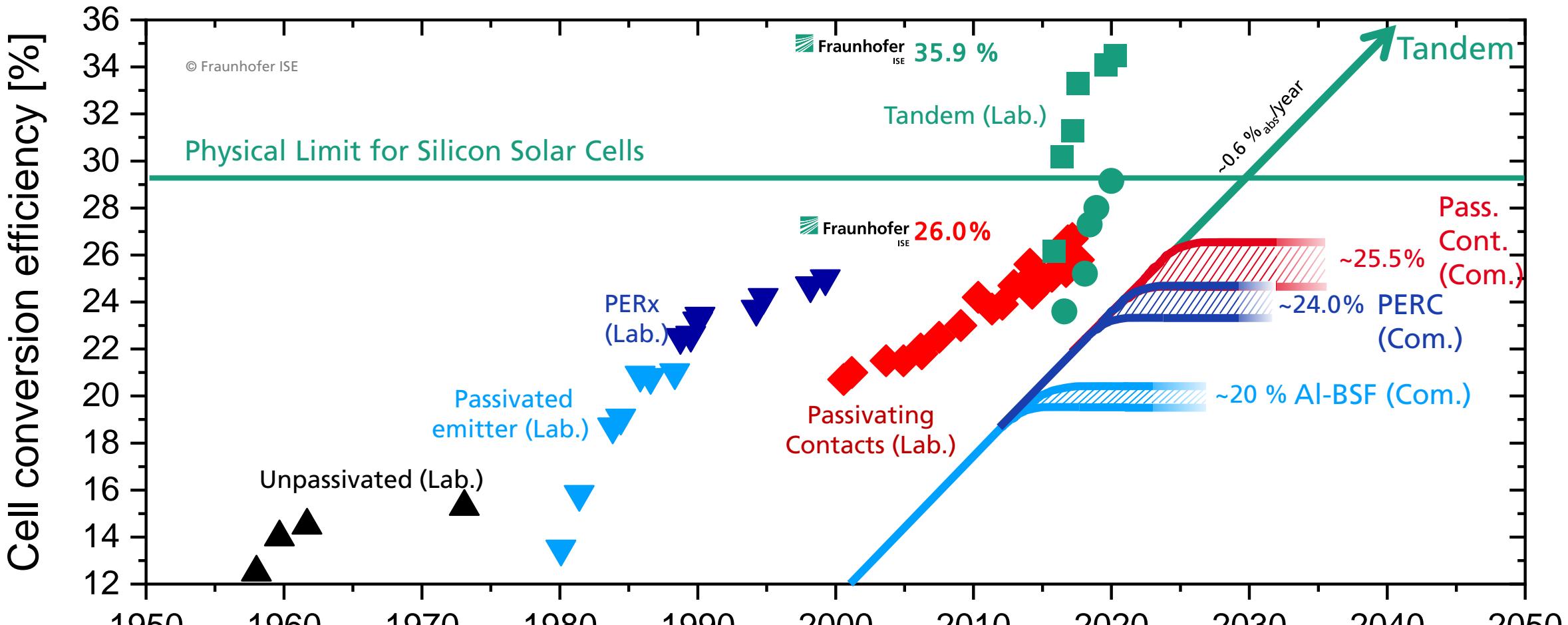
Measurements	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
mono-Si, SHJ									50	22	
mono-Si, not specified	248	287	261	194	230	225	220	259	280	239	191
poly-Si, not specified	409	449	348	347	302	265	193	126	116	49	13



Median efficiencies	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
mono-Si, SHJ										20.4	21.0
mono-Si, not specified	15.1	15.4	15.9	16.4	16.7	17.2	18.0	18.6	19.2	19.8	20.3
poly-Si, not specified	14.6	14.9	15.4	15.7	16.1	16.4	16.5	16.7	17.0	16.6	16.7

Development of Laboratory and Commercial Solar Cell Efficiencies

What's Next?



Graph: Fraunhofer ISE 2021

Market Share

Monofacial and Bifacial Solar Cells and Modules

International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) → 2021 results, 13. Edition, March 2022

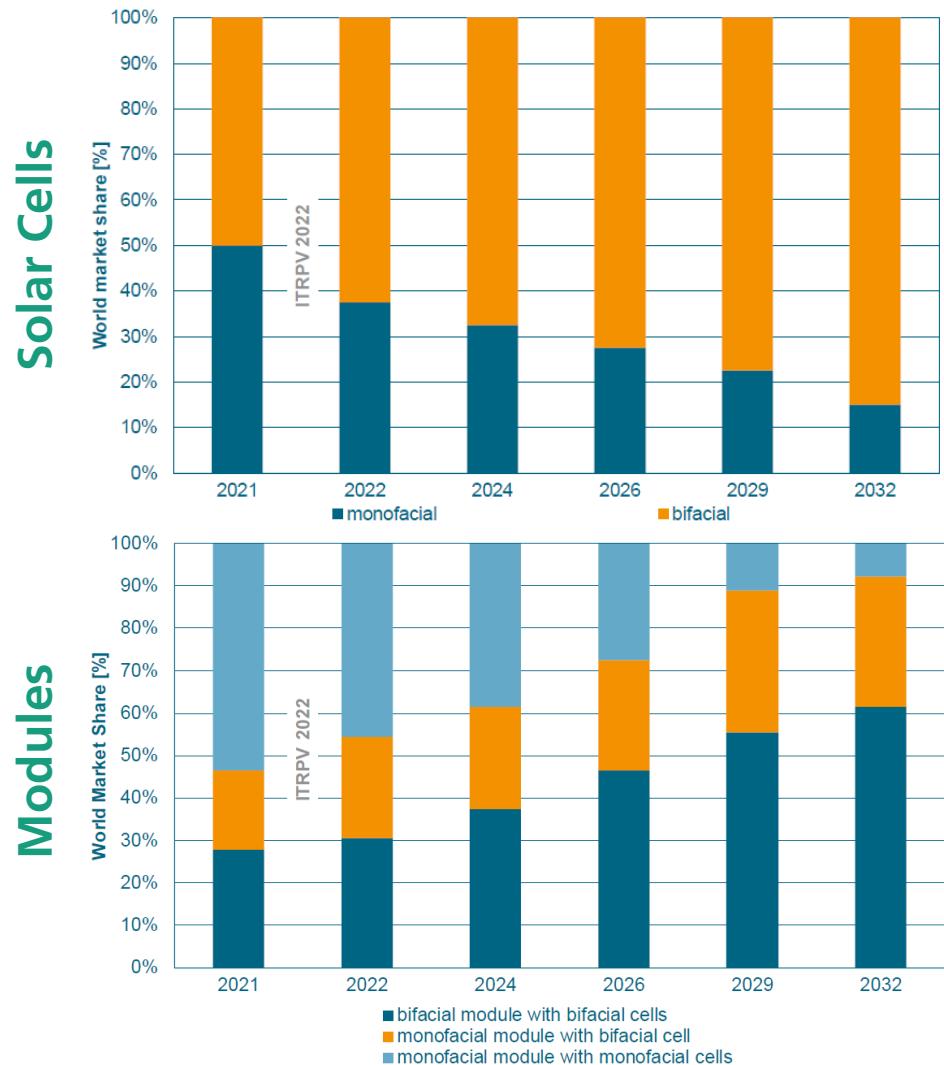
- ~ 62 % for solar cells (2022)
- ~ 30 % for modules (2022)

Data Mining of Solar Cell and Module Datasheets → 2020

- ~ 62.4 % for solar cells (2020)
- ~ 31.1 % for modules (2020)

CalLab PV Modules Data Evaluation

~ 30 % for modules (2022)

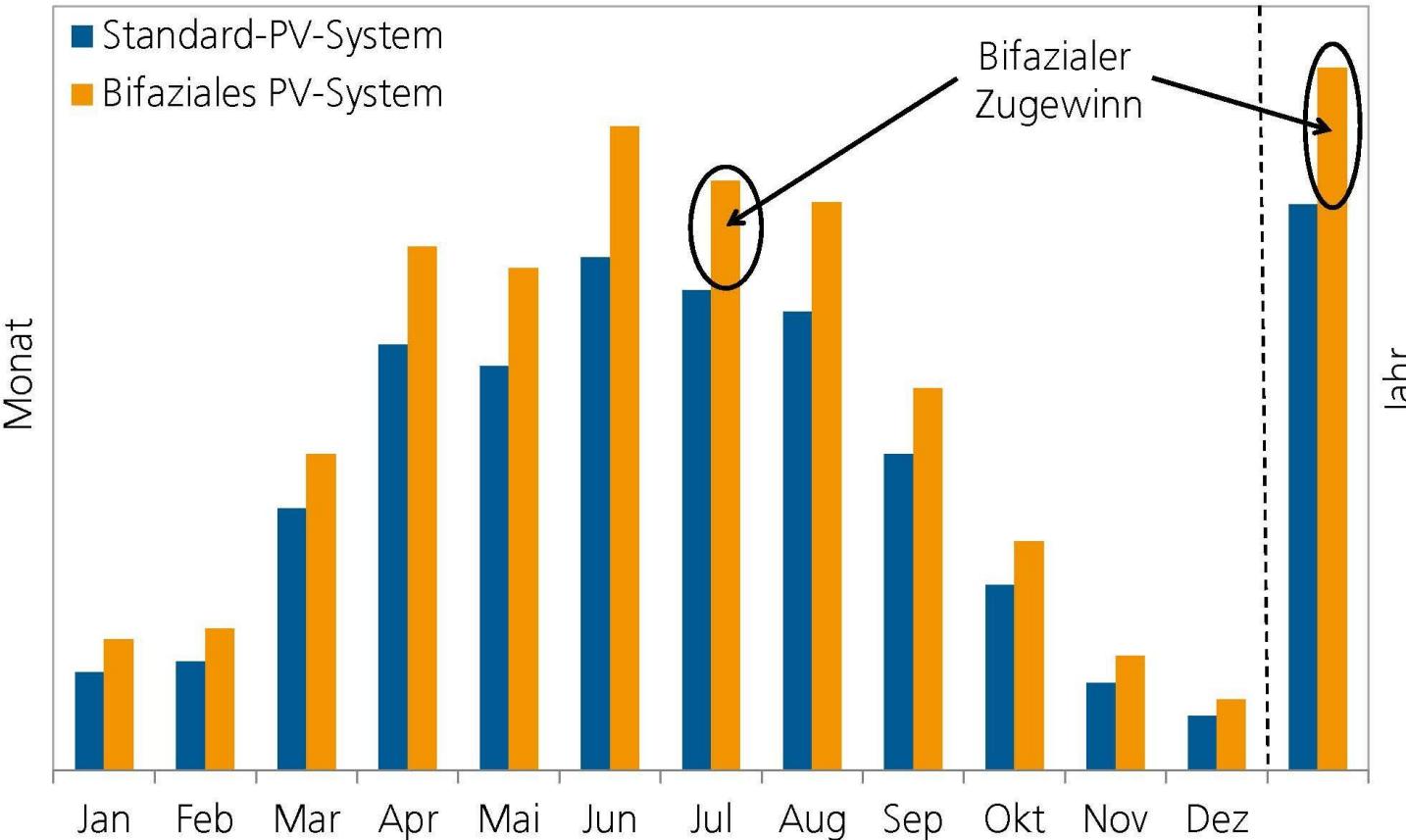




Bifacial Gains

Comparison of different system configurations

Spezifischer Ertrag [kWh/kWp]



Bifacial Gains

Comparison of different system configurations

Ground mounted (S-oriented):

3.71 %



Pitch: 5 m, 65 % coverage ratio, tilt: 35 °

EW single axis tracking:

3.73 %



Pitch: 9.9 m, 35 % coverage ratio, max tilt: 30 °

Agri-PV (SW-oriented):

9.23 %



Pitch: 9.5 m, clearance height: 5 m, tilt: 20 °

→ Increased clearance height and row spacing leads to higher bifacial gains.

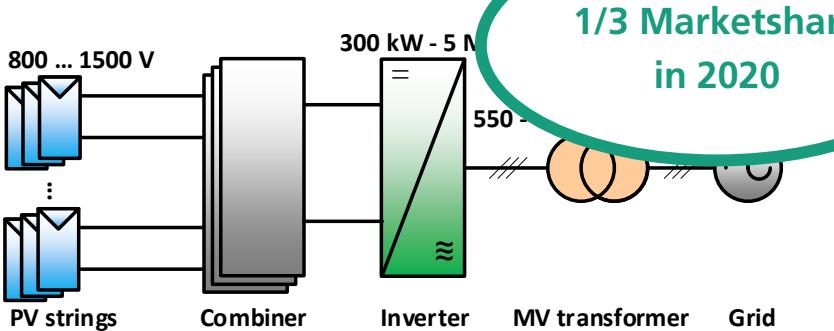
Typical meteorological year in Freiburg (DE, $\sum \text{GHI} = 1201.7 \text{ kWh/m}^2$), Bifaciality factor: 0.7 [3], Albedo for grassland

Ground mounted and tracked configurations were simulated with equal clearance height of 0.3 m

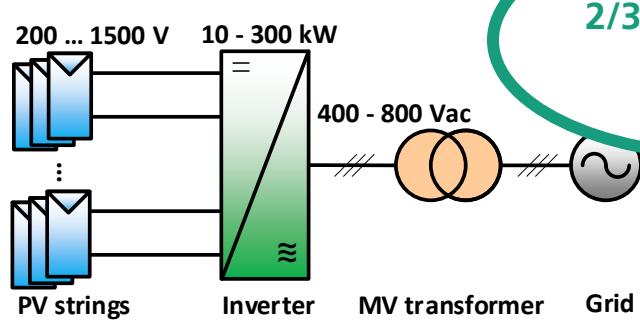
State of the art

Concepts: Central vs. String

Central Inverter



String Inverter

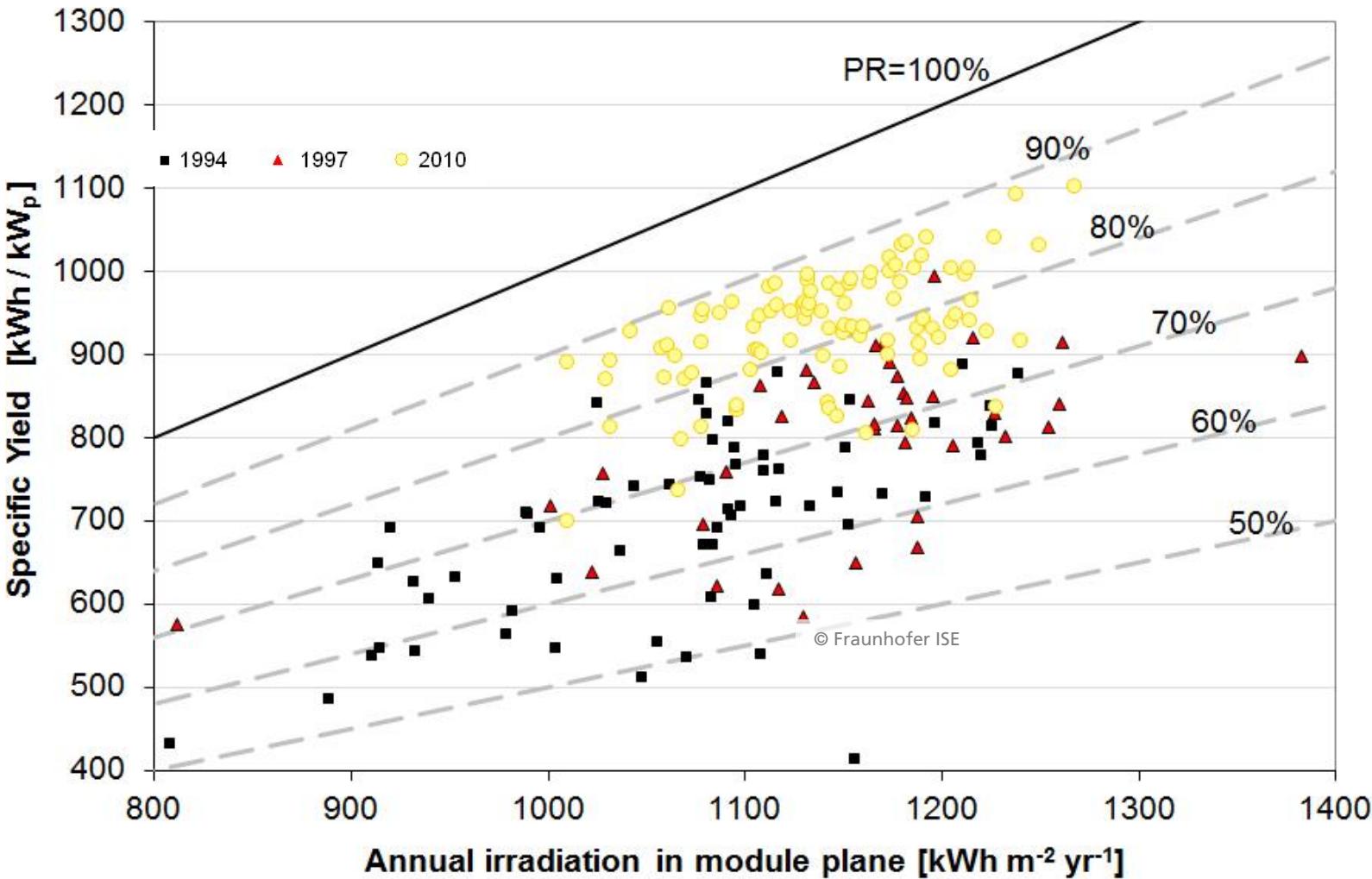


- Low investment cost per Watt
- High reliability per Watt
- More DC-cabling
- Combiner boxes to collect PV strings
- Inverter without booster stage

- Easy replacement
- Less energy losses during outage
- More AC-cabling
- Two concepts available
 - With combiner boxes, without booster
 - **Multistring inverters** with multiple booster stages and MPPTs

Performance Ratio Development for PV Systems

Germany



In the 1990's

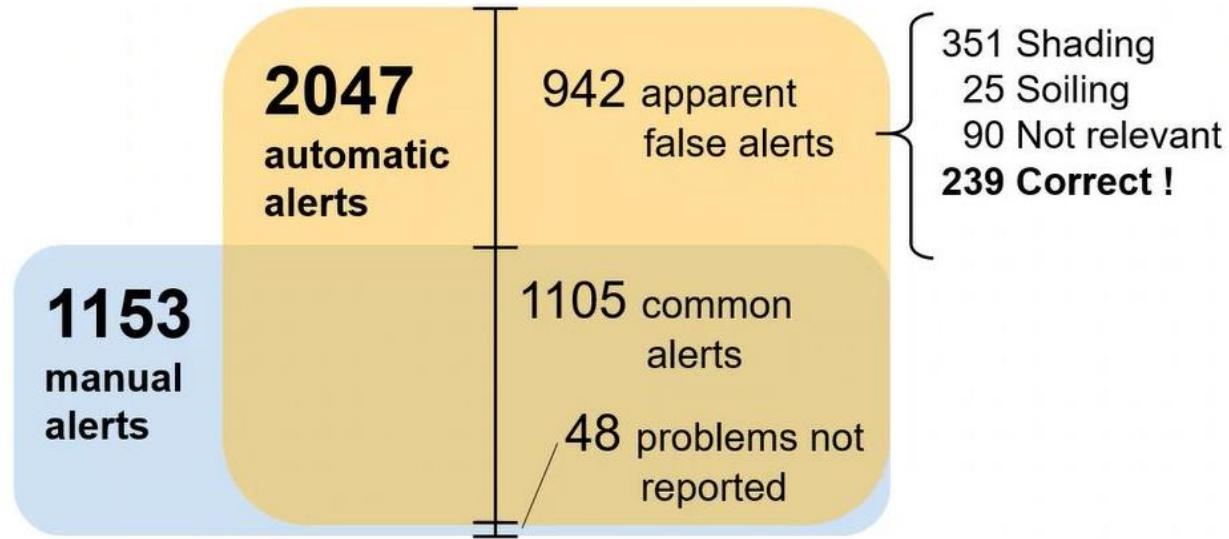
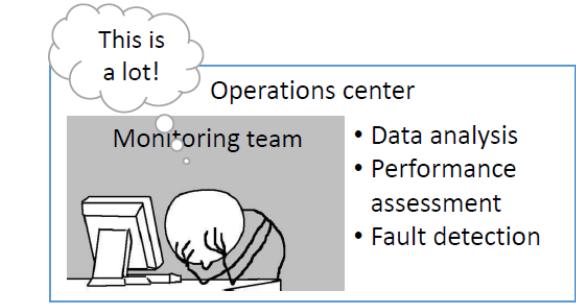
- Typical PR ~70 %
- Widely ranging PR values

Today

- Typical PR > 83 %
- Less variance in PR as compared to 1990's

Improved PR by Digitalization - Automated Fault Detection

Intelligent data evaluation by AI



- Example 5491 days evaluated /170 systems
- 13.2% of the actual problems went unnoticed by the conventional monitoring routine
- < 12% of the automatic alerts are false.
- > 99% of the serious problems detected



Nachhaltigkeit und Biodiversität

Studien und Veröffentlichungen zur Ökologie von PV-Freiflächenanlagen

top agrar online

Solarparks NABU und BSW: So könnten naturverträgliche Solarparks aussehen

Der Naturschutzbund Deutschland (NABU) und der Bundesverband Solarwirtschaft (BSW) streben eine Win-Win-Lösungen für Natur- und Klimaschutz an.

06.05.2021 von  Hinrich Neumann



- Viele Positionspapiere: BSW, NABU, KNE und BNE
- Wenige umfangreiche Studien wie der INSIDE-Studie



Kriterien für eine naturverträgliche Gestaltung von Solar-Freiflächenanlagen

Übersicht und Hinweise zur Gestaltung

Die folgende Übersicht stellt eine Zusammenstellung von Kriterien sowie weiterführenden Hinweisen für eine naturverträgliche Ausgestaltung von Solar-Freiflächenanlagen aus derzeitig existierenden Planungshilfen bzw. Positionspapieren dar. Das Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE) stellt die Übersicht zusammen.

Stand: 14. September 2021

e.V.
Fon: +49 30 400548-0
Fax: +49 30 400548-10
mail@bne-online.de
www.bne-online.de



bne

Gute Planung von PV-Freilandanlagen

Wie sich Energiewende, Umwelt- und Naturschutz vereinen lassen



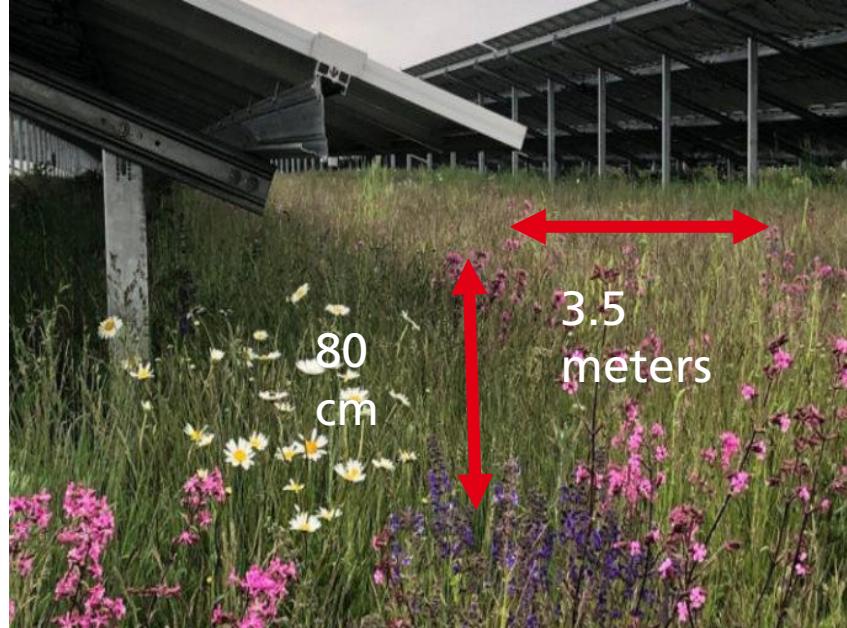
iup Institut für Umweltplanung

Leibniz Universität Hannover

Ole Badelt, Raphael Niepelt, Julia Wiehe, Sarah Matthies, Timo Gewohn, Manuel Stratmann, Rolf Brendel, Christina von Haaren

Integration von Solarenergie in die niedersächsische Energiedlandschaft (INSIDE)

Biodiversity in PV installations



© Fraunhofer ISE

Example Project Model Region Agri-PV Baden-Württemberg

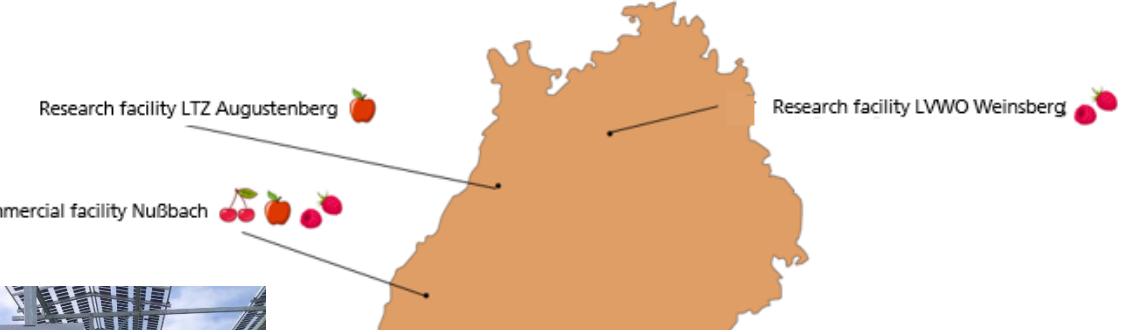
project dur.
focus: five

First results:
farm, two
Synergies:

- Hail protection
- less damage
- 90% full yield

Apples will

Future sci.
- CO₂ re
- Monito
- Agricu



Technisches Potenzial Agri-PV in Deutschland ca. 1700 GWp
Technisches Potential AgriPV in BW ca. 140 GWp

Forschungsfrage:
**Wie hoch ist das Flächenpotenzial unter Berücksichtigung
wirtschaftlicher, regulatorischer und praktischer
Randbedingungen?**





Fraunhofer
ISE

Contact

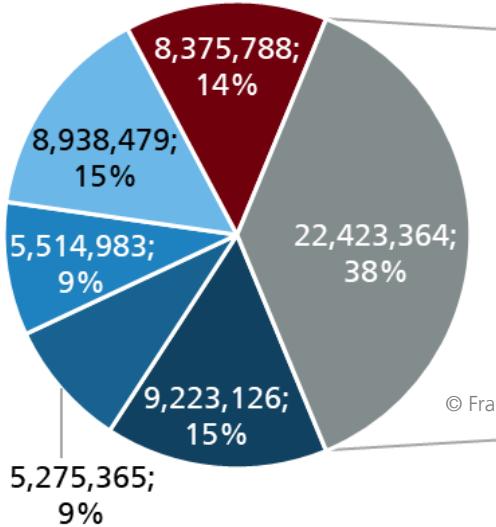
Anna Heimsath
Department Head AMK
anna.heimsath@ise.fraunhofer.de



Share of Capacity of PV-Systems Installed

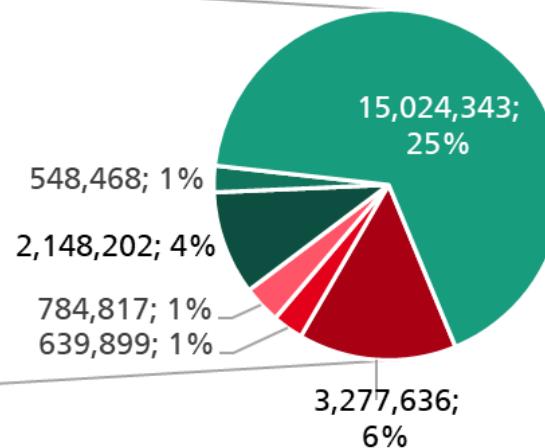
Percentage of Cumulative Installations by System Size in Germany in 2021

PV Capacity in kWp and percentage of all grid-connected PV-Systems



© Fraunhofer ISE

PV Capacity in kWp and percentage of Systems larger than 500 kWp



At the end of 2021 a total cumulated PV capacity of about 59.8 GW was installed in Germany.

Source: Fraunhofer ISE, own calculation based on MaStR (05.07.2022) + Data validation algorithm

Ökologie von Agri-PV-Systemen und PV-Freiflächenanlagen

Warum es sich lohnt, Biodiversität und Solarparks zusammen zu denken

- PV-Anlagen, die ausschließlich zur Maximierung der Energieerträge gebaut werden, können negative Auswirkungen auf das Mikroklima, die Biodiversität und die Bodenqualität haben
- Natur- und Artenschutz sind mit die größten Herausforderungen für die Transformation hin zu einer nachhaltigen Gesellschaft
- Ökologisch wertvolle PV-Anlagen könnten verschiedene Biozönosen beherbergen und gleichzeitig die gesellschaftliche Akzeptanz verbessern
- Die gezielte Förderung von Bestäubern und Nützlingen verbessert die landwirtschaftliche Produktion
- Erwartete Veränderungen in der europäischen Agrar- und Umweltpolitik in den nächsten Jahren:
 - Ökologische Ausgleichsfläche und Eco-Schemes der Gemeinsamen Europäischen Agrarpolitik (GAP)