Erfahrungen aus der Umsetzung Kombination Photovoltaik und Schallschutz

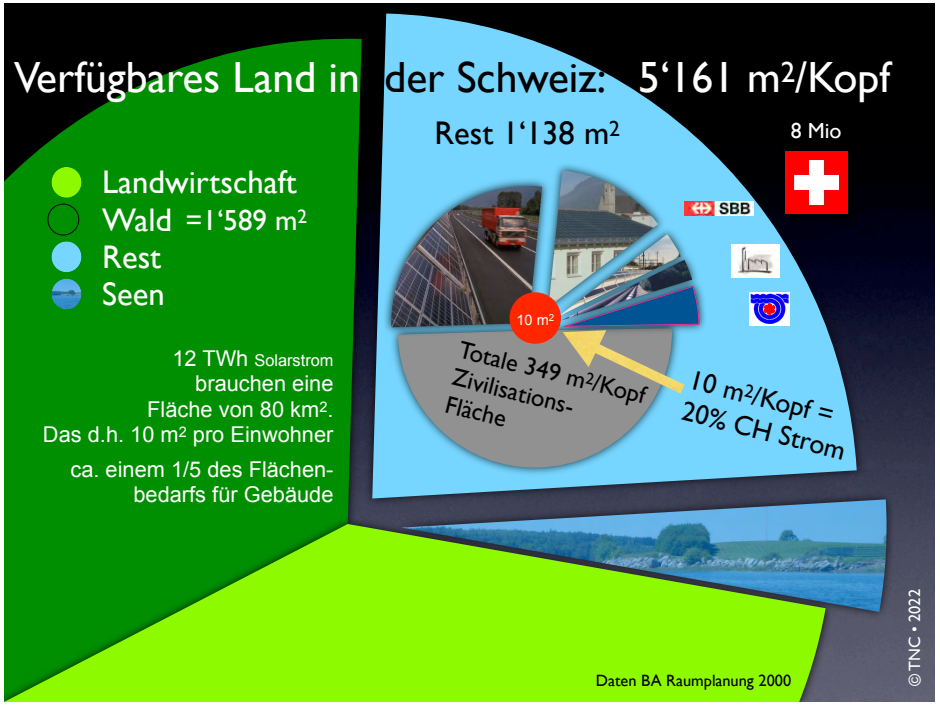
TNC Engineering AG
Thomas Vontobel, Geschäftsführer

©TNC 2022

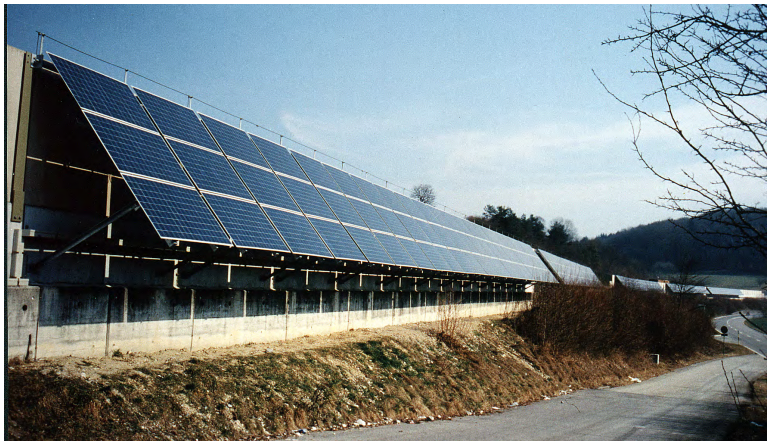
Inhalt

- Eine Auswahl an konstruktiven Varianten von Kombinationen PV und LSW
- Welche Schallschutzwände sind geeignet?
- Welches sind Faktoren für eine erfolgreiche Projektrealisierung?
- Was beeinflusst einen erfolgreichen Betrieb?
- Fragen

©TNC 2022

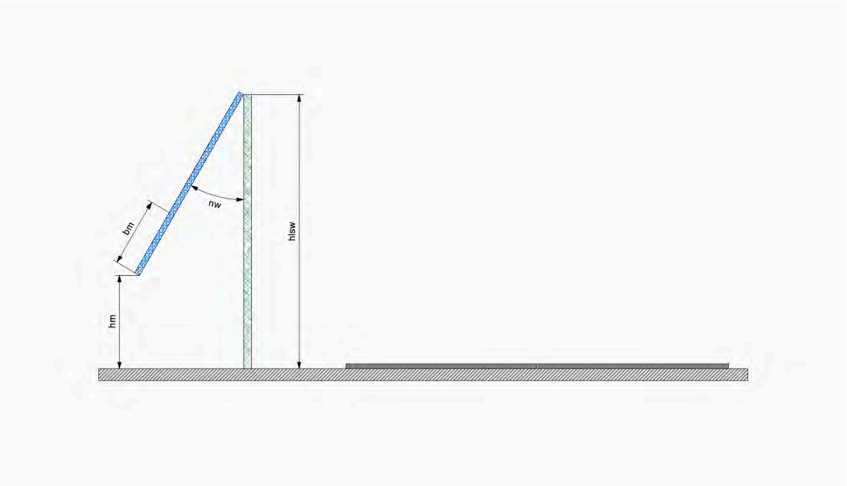


Umsetzungsvarianten PV LSW



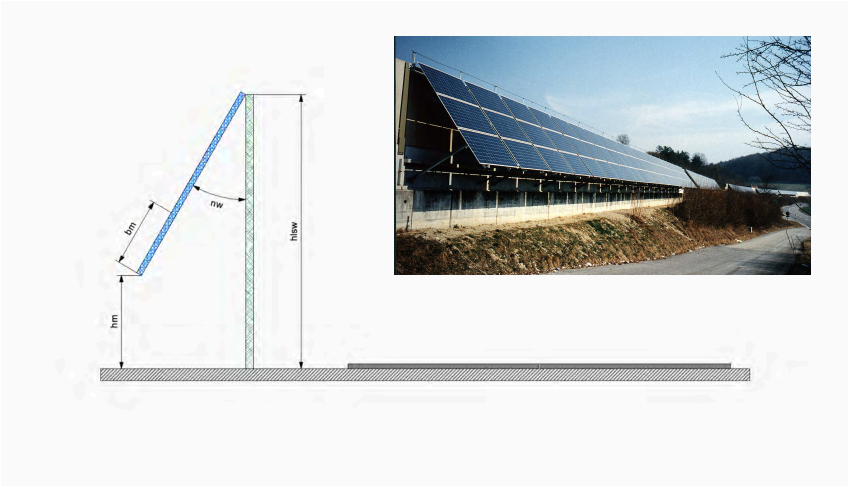
©TNC 2022

Umsetzungsvarianten PV LSW



©TNC 2022

Umsetzungsvarianten PV LSW



©TNC 2022

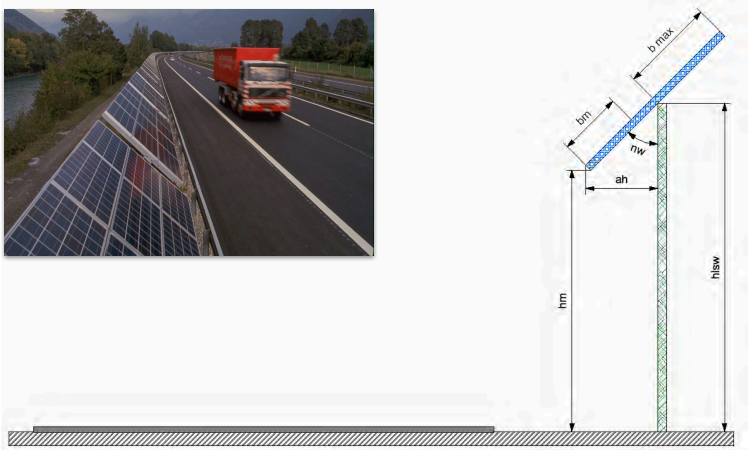
Umsetzungsvarianten PV LSW

©TNC 2022

Umsetzungsvarianten PV LSW

©TNC 20

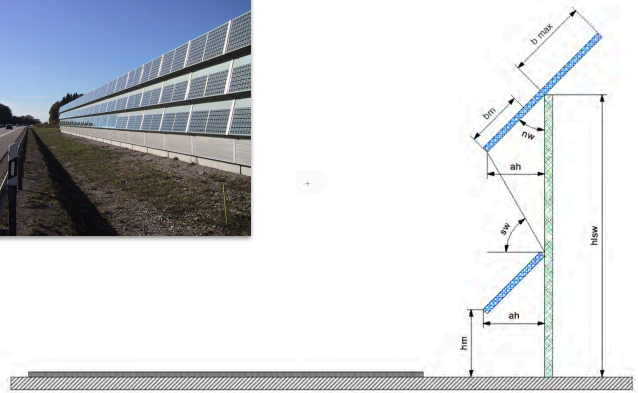
Umsetzungsvarianten PV LSW



Umsetzungsvarianten PV LSW

Umsetzungsvarianten PV LSW

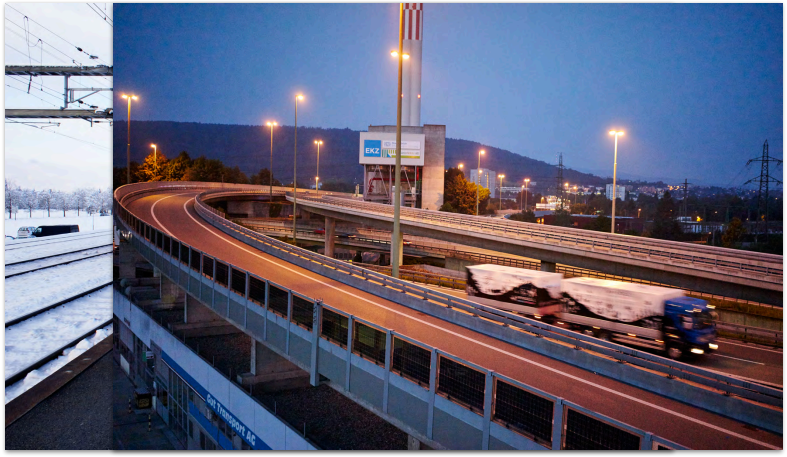
Umsetzungsvarianten PV LSW



Umsetzungsvarianten PV LSW

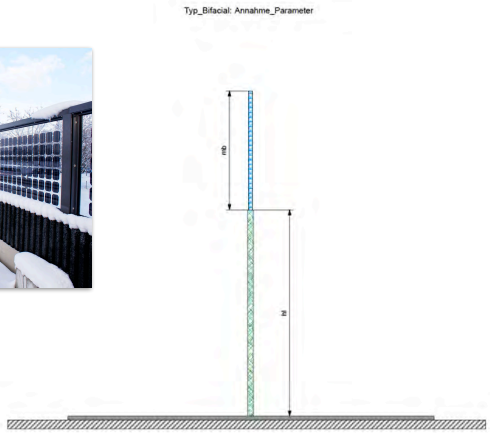
©TNC 2022

Umsetzungsvarianten PV LSW



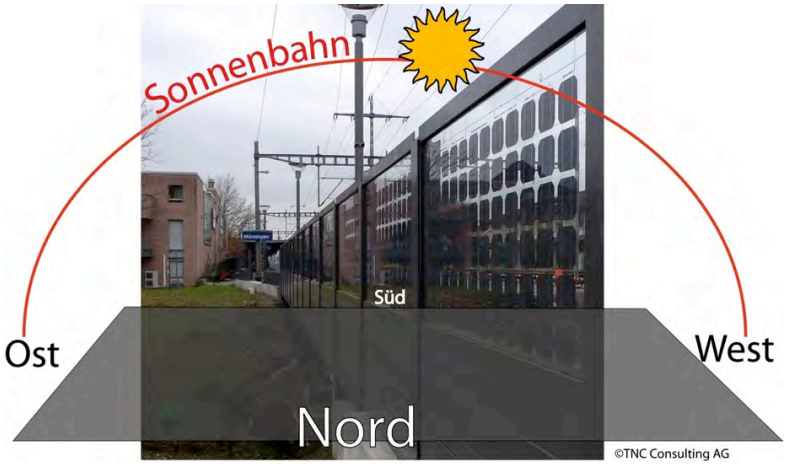
©TNC 2022

Umsetzungsvarianten PV LSW



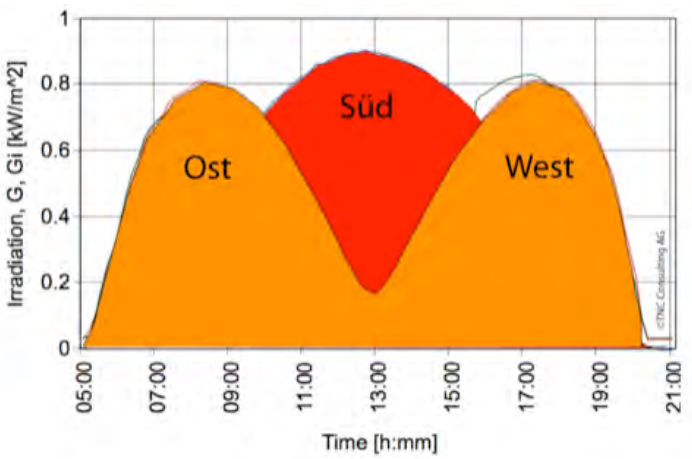
©TNC 2022

Bifacial PV LSW



©TNC 2022

Bifacial PV LSW



©TNC 2022

Umsetzungsvarianten PV LSW

©TNC 2022

Umsetzungsvarianten PV LSW

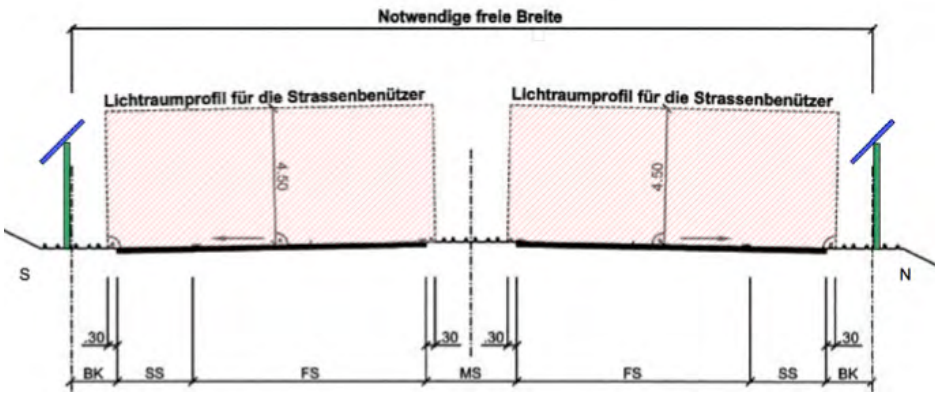
©TNC 2022

Inhalt

- Eine Auswahl an konstruktiven Varianten von Kombinationen PV und LSW
- Welche Schallschutzwände sind geeignet?
- Welches sind Faktoren für eine erfolgreiche Projektrealisierung?
- Was beeinflusst einen erfolgreichen Betrieb?
- Fragen

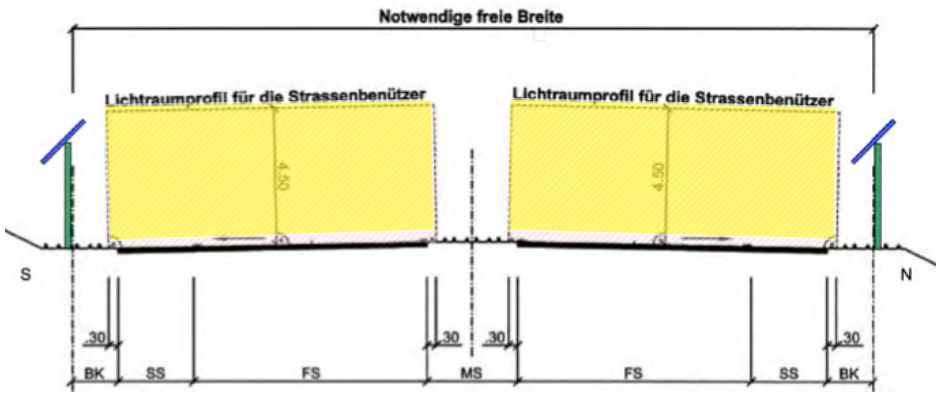
©TNC 2022

Rahmenbedingungen & Anforderungen



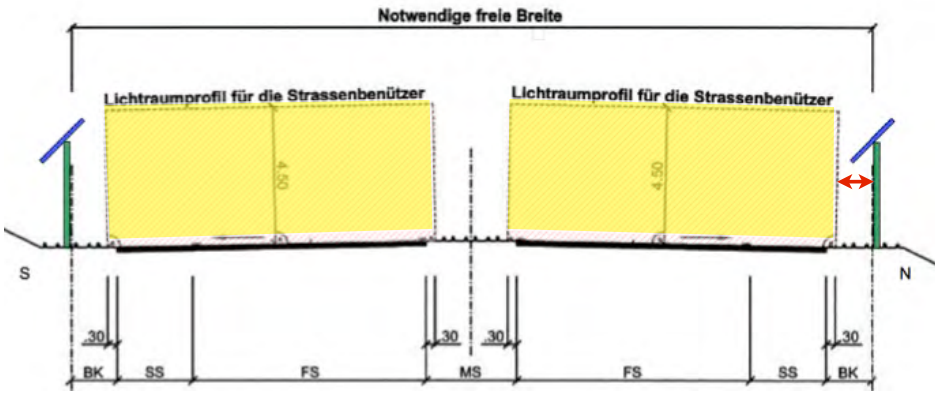
©TNC 2022

Rahmenbedingungen & Anforderungen



©TNC 2022

Rahmenbedingungen & Anforderungen



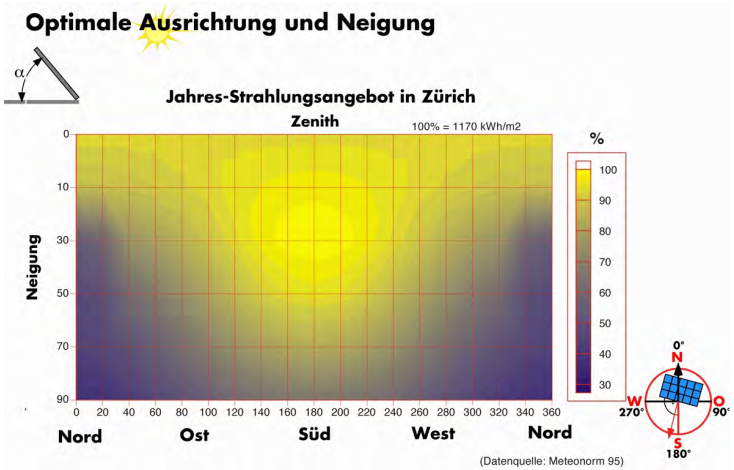
©TNC 2022

Rahmenbedingungen & Anforderungen

- PV Module dürfen die Schallschutzfunktion nicht beeinträchtigen (Schallreflektion an Glas)
- Sicherheitsaspekte: Elektrische Sicherheit, Blendwirkung
- Bauliche Anforderungen: Statik, Windlasten, mechanische Verbindungen, Materialwahl
- Nutzbares Solarstrahlungsangebot ist abhängig von der Ausrichtung und der Neigung sowie der Verschattung
- Wirtschaftlichkeit
- Bewilligungsverfahren und rechtliche Rahmenbedingungen
- Betrieb und Unterhalt

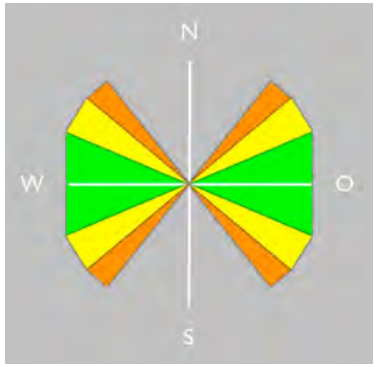
©TNC 2022

Der Himmel ist tolerant



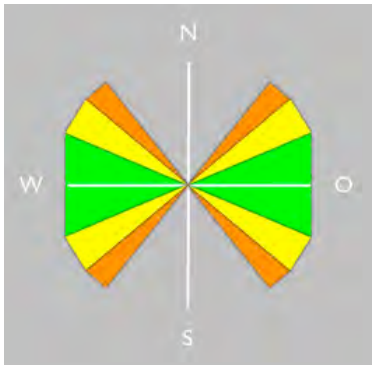
©TNC 2022

Optimaler Strassenverlauf

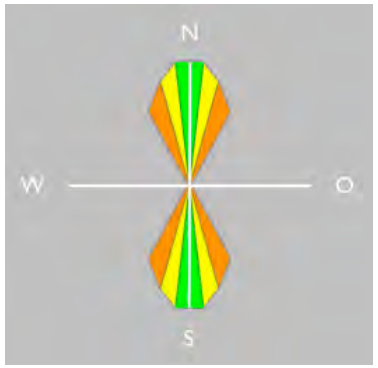


©TNC 2022

Optimaler Strassenverlauf

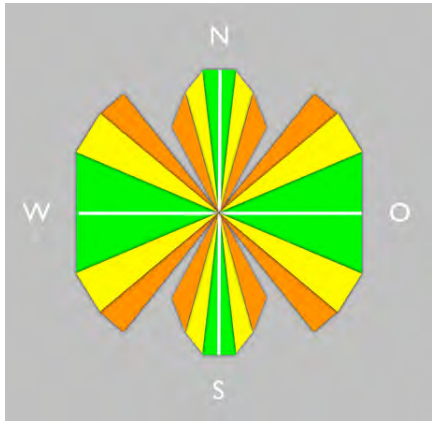


+



©TNC 2022

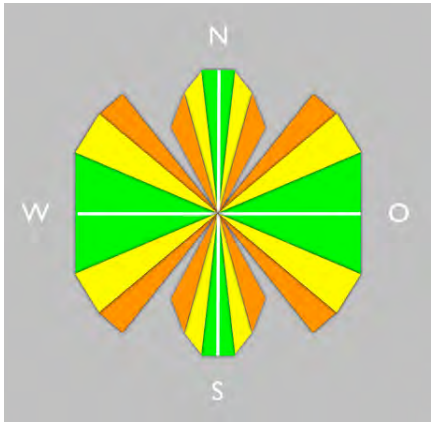
Optimaler Strassenverlauf



Werden konventionelle PV Technologie und bifaciale Technologie eingesetzt, sind fast alle Ausrichtungen von Lärmschutzwänden aus Sicht Solarstrahlungsangebot nutzbar

©TNC 2022

Optimaler Strassenverlauf



Werden konventionelle PV Technologie und bifaciale Technologie eingesetzt, sind fast alle Ausrichtungen von Lärmschutzwänden aus Sicht Solarstrahlungsangebot nutzbar

Lokale Verschattungen, insbesondere im urbanen Bereich, können zu Ertragseinbussen führen

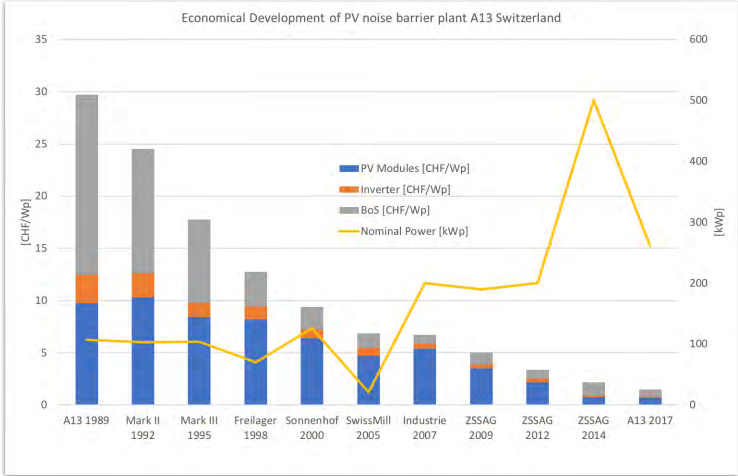
©TNC 2022

Inhalt

- Eine Auswahl an konstruktiven Varianten von Kombinationen PV und LSW
- Welche Schallschutzwände sind geeignet?
- Welches sind Faktoren für eine erfolgreiche Projektrealisierung?
- Was beeinflusst einen erfolgreichen Betrieb?
- Fragen

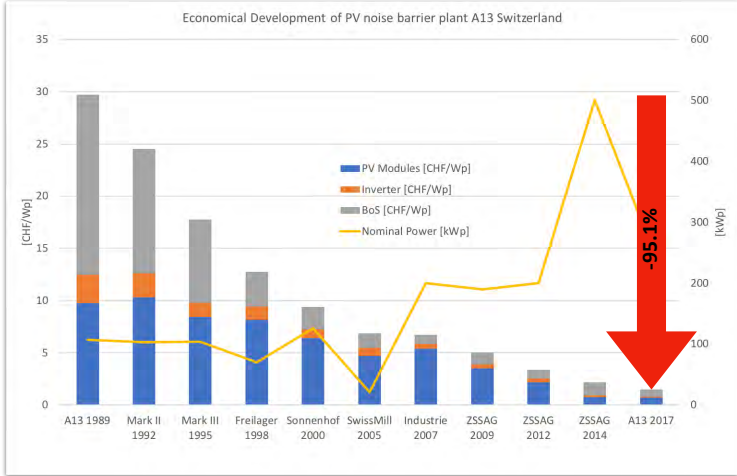
©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit



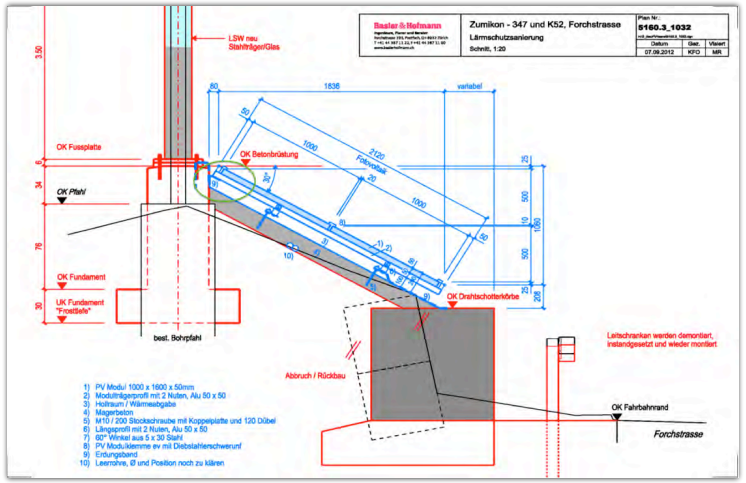
©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit



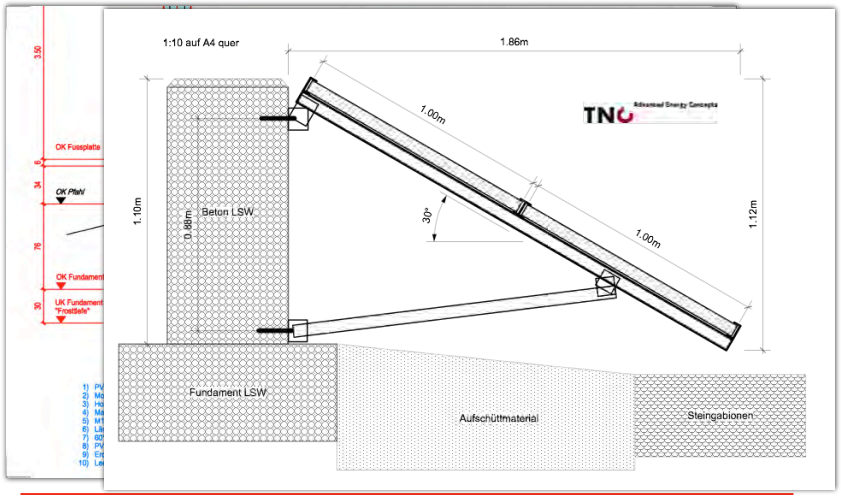
©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit - Komponenten



©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit - Komponenten

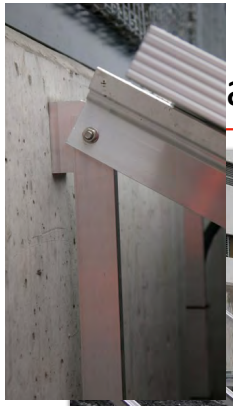


©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit - Komponenten

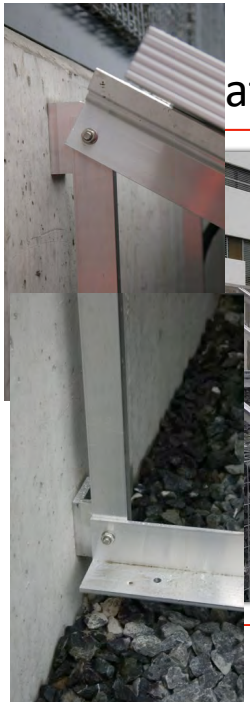
©TNC 2022

aftlichkeit - Komponenten



©TNC 2022

aftlichkeit - Komponenten



PV-Schallschutz im urbanen Raum

©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit - Montage

©TNC 2022

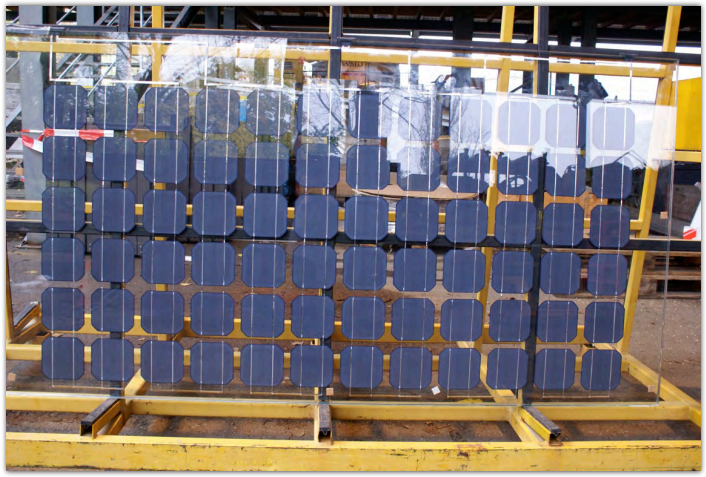
Wirtschaftlichkeit - Montage

©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit - Montage

©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit



©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit

©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit

©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit

©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit

©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit

©TNC 2022

Wirtschaftlichkeit

©TNC 2022

Inhalt

- Eine Auswahl an konstruktiven Varianten von Kombinationen PV und LSW
- Welche Schallschutzwände sind geeignet?
- Welches sind Faktoren für eine erfolgreiche Projektrealisierung?
- Was beeinflusst einen erfolgreichen Betrieb?
- Fragen

©TNC 2022

Betrieb und Unterhalt

©TNC 2022

Betrieb und Unterhalt

©TNC 2022

Betrieb und Unterhalt

- Visuelle Inspektion und Anlagenüberwachung
- Unterhalt muss geregelt sein (Anlagebetreiber)

©TNC 2022

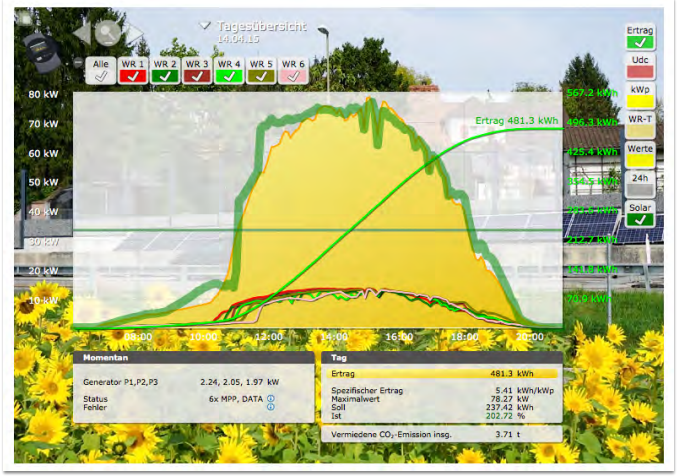
Betrieb und Unterhalt

©TNC 2022

Betrieb und Unterhalt

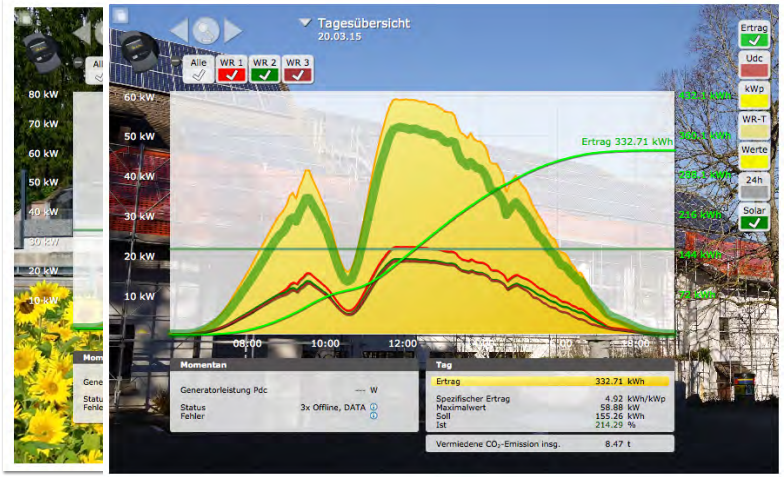
©TNC 2022

Betrieb und Unterhalt



©TNC 2022

Betrieb und Unterhalt



©TNC 2022

Langzeitauswertung PVA A13

- 1. PV Schallschutzanlage 1989 erstellt
- 103 kW_p PV
- Spezifischer Ertrag 1’085 kWh/kW_p

©TNC 2022

Langzeitauswertung PVA A13

- 1. PV Schallschutzanlage 1989 erstellt
- 103 kW_p PV
- Spezifischer Ertrag 1’085 kWh/kW_p

©TNC 2022

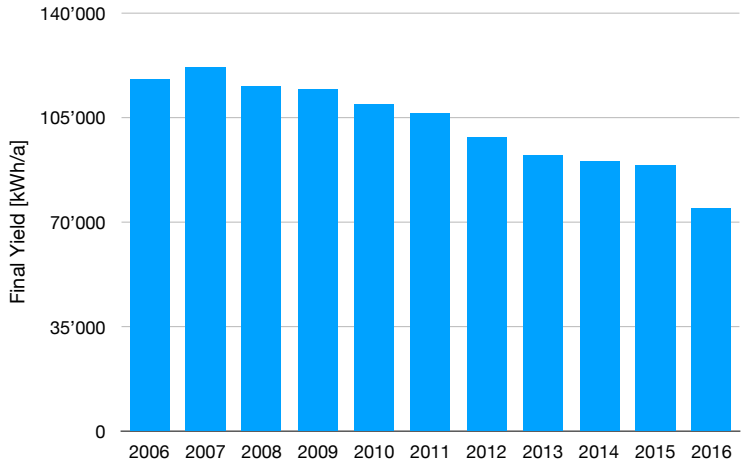
Ausgangslage Performance A13

„The plant performed well according to its design specifications. It reached the highest performance ratio, mean final yield and plant efficiency that we have found up to now (in 10 years of PV plant monitoring). Thus it becomes a reference target for future PV installations.“

Final Report On System Monitoring, September 1992
Joint Research Centre, European Solar Test Installation
by G. Blaesser & A. Tournier

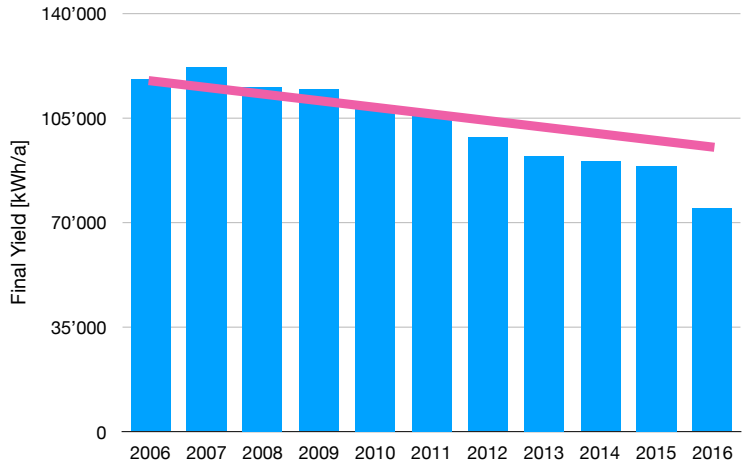
©TNC 2022

Auswertung Solarstromertrag A13



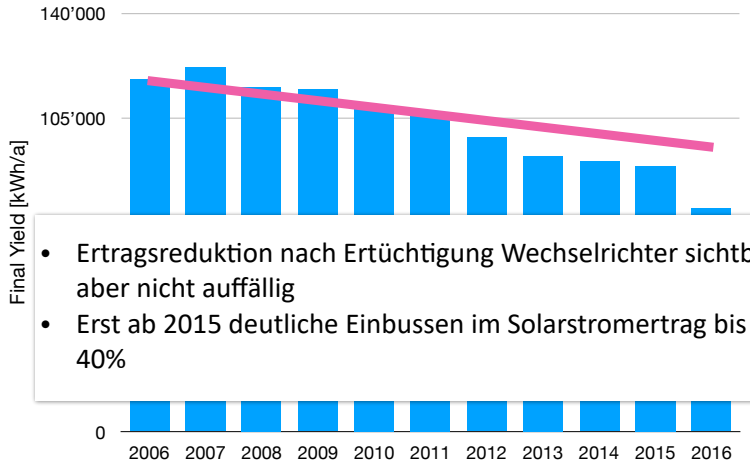
©TNC 2022

Auswertung Solarstromertrag A13



©TNC 2022

Auswertung Solarstromertrag A13



- Ertragsreduktion nach Ertüchtigung Wechselrichter sichtbar, aber nicht auffällig
- Erst ab 2015 deutliche Einbussen im Solarstromertrag bis zu 40%

©TNC 2022

Performance Ratio PR

- Performance Ratio ist das Verhältnis zwischen Ist-Ertrag und Soll-Ertrag (Reference Yield und Final Yield)

©TNC 2022

Performance Ratio PR

- Performance Ratio ist das Verhältnis zwischen Ist-Ertrag und Soll-Ertrag (Reference Yield und Final Yield)
- Der Ist-Ertrag entspricht dem eingespeisten Solarstrom am Messpunkt

©TNC 2022

Performance Ratio PR

- Performance Ratio ist das Verhältnis zwischen Ist-Ertrag und Soll-Ertrag (Reference Yield und Final Yield)
- Der Ist-Ertrag entspricht dem eingespeisten Solarstrom am Messpunkt
- Der Soll-Ertrag wird mittels Solarstrahlung in der Modulebene und den theoretischen STC Werten des Moduls berechnet

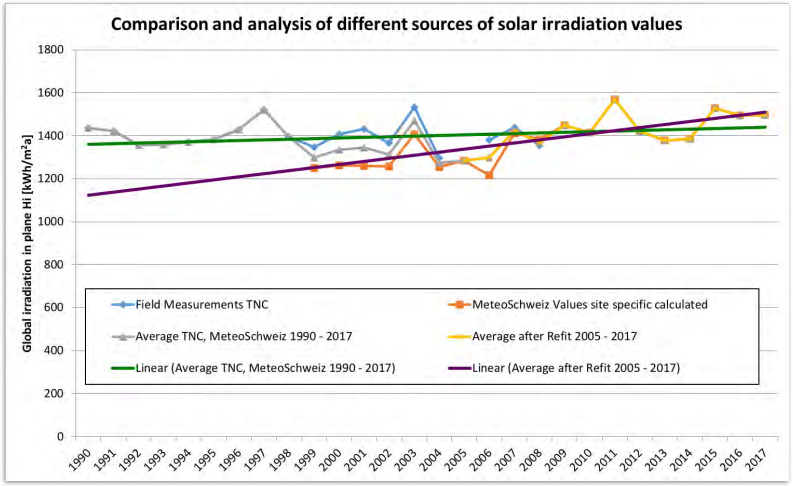
©TNC 2022

Performance Ratio PR

- Performance Ratio ist das Verhältnis zwischen Ist-Ertrag und Soll-Ertrag (Reference Yield und Final Yield)
- Der Ist-Ertrag entspricht dem eingespeisten Solarstrom am Messpunkt
- Der Soll-Ertrag wird mittels Solarstrahlung in der Modulebene und den theoretischen STC Werten des Moduls berechnet
- Die Abweichung zum Idealfaktor 1 beinhaltet unter anderem Leitungsverluste, Verluste im Wechselrichter, Missmatch, etc

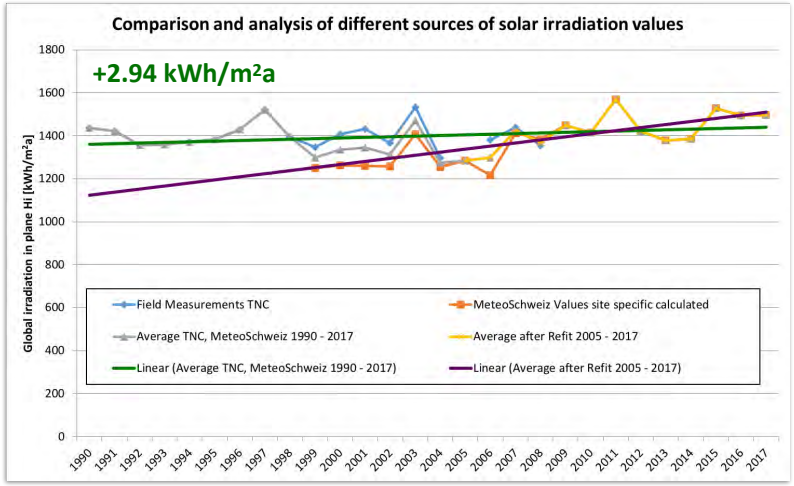
©TNC 2022

Der Einfluss der Solarstrahlung



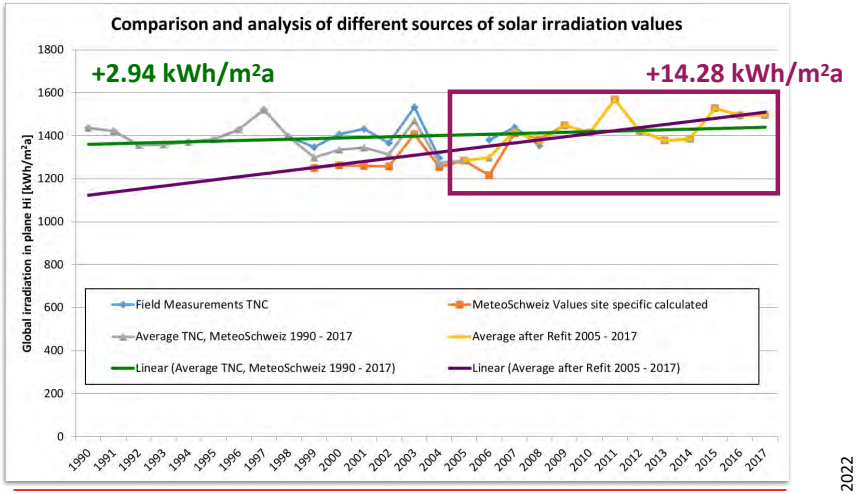
©TNC 2022

Der Einfluss der Solarstrahlung



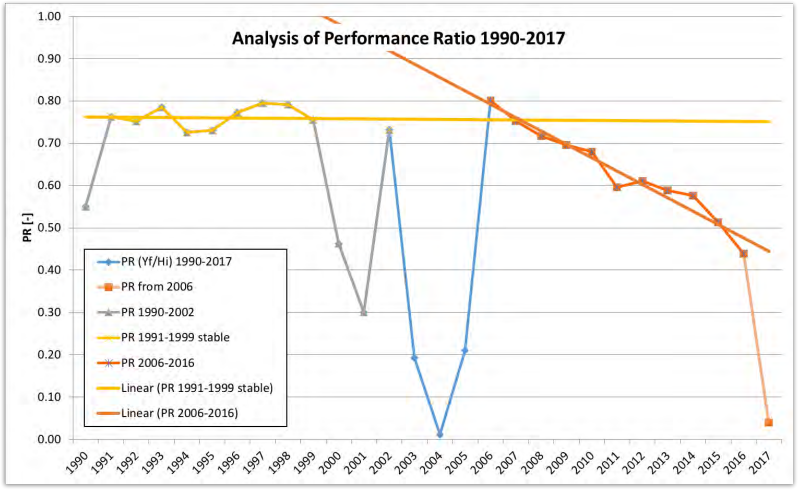
©TNC 2022

Der Einfluss der Solarstrahlung



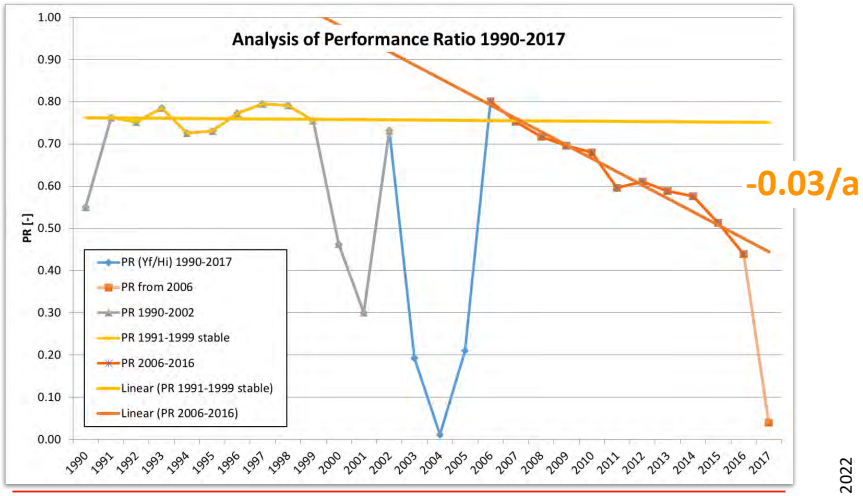
©TNC 2022

Performance Ratio PR



©TNC 2022

Performance Ratio PR



©TNC 2022

Haben die PV Module versagt?

- Kyocera LA361J48 PV modules
- State of the art 1989
- Nominal power 48 W_p
- Module efficiency 11%
- 36 polycristalline solar cells
- connection box with screwed enclosure
- diode within connection box

©TNC 2022

Haben die PV Module versagt?

- Kyocera LA361J48 PV modules
- State of the art 1989
- Nominal power 48 W_p
- Module efficiency 11%
- 36 polycristalline solar cells
- connection box with screwed enclosure
- diode within connection box
- 23 PV modules available directly from the plant

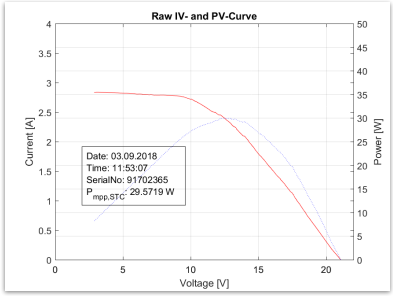
©TNC 2022

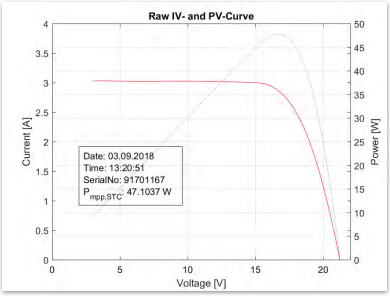
Haben die PV Module versagt?

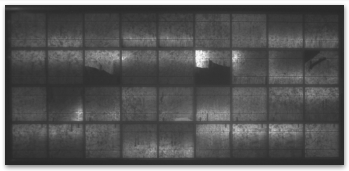
- Kyocera LA361J48 PV modules
- State of the art 1989
- Nominal power 48 W_p
- Module efficiency 11%
- 36 polycristalline solar cells
- connection box with screwed enclosure
- diode within connection box
- 23 PV modules available directly from the plant
- 8 modules non light-exposed

©TNC 2022

Haben die PV Module versagt?







Based on Lab measurements ZHAW

©TNC 2022

Haben die PV Module versagt?

Serial Number	Voc Raw [V]	Isc Raw [A]	Vmpp Raw [V]	Impp Raw [A]	Pmpp Raw [W]	Voc STC [V]	Isc STC [A]	Pmpp STC [W]	I/V curve commentaries	Pmpp nameplate [W]	Difference Pmpp to nameplate	Difference Pmpp to Flasher manufacturer
91621048	21.26	2.96	15.08	2.50	37.69	21.02	2.97	37.18	Rs	46.80	-21%	-21%
91620357	21.25	2.90	14.84	2.41	35.72	21.02	2.91	35.25	Rs	46.80	-25%	-25%
91613393	21.27	2.95	15.64	2.57	40.26	21.04	2.95	39.73	Semi Rs	46.80	-15%	-15%
91621017	21.25	2.70	14.40	2.34	33.72	21.02	2.70	33.28	Rs, Isc	46.80	-29%	-29%
91702360	21.21	2.92	14.82	2.53	37.44	20.97	2.93	36.91	Rs	46.80	-21%	-21%
91701156	21.12	2.91	15.18	2.64	40.04	20.90	2.91	39.52	Ok	46.80	-16%	-15%
91701144	21.08	2.90	14.26	2.59	36.99	20.79	2.90	36.37	Rs	46.80	-22%	-22%
91701160	21.14	2.90	14.05	2.57	36.07	20.92	2.90	35.60	Rs	46.80	-24%	-25%
91702075	21.13	2.89	14.29	2.57	36.68	20.91	2.89	36.21	Rs	46.80	-23%	-24%
91701145	21.07	2.88	15.24	2.50	38.14	20.85	2.88	37.66	Rs	46.80	-20%	-18%
91621015	21.19	2.93	15.12	2.61	39.53	20.96	2.94	39.00	Semi Rs	46.80	-17%	-18%
91702076	21.05	2.89	13.48	2.53	34.09	20.83	2.89	33.66	Rs	46.80	-28%	-29%
91702365	21.05	2.83	12.45	2.41	29.95	20.83	2.84	29.57	Extreme Rs	46.80	-37%	-37%
91703124	21.02	2.89	13.30	2.36	31.34	20.80	2.90	30.94	Extreme Rs	46.80	-34%	-34%
91621049	21.15	2.94	15.27	2.33	35.57	20.93	2.95	35.10	Rs, Bypass	46.80	-25%	-26%
89903051	21.15	3.10	16.18	2.84	45.97	20.94	3.10	45.40	Ok	48.00	-5%	-
89Y23101	21.28	3.13	16.75	2.84	47.56	21.06	3.13	46.95	Ok	48.00	-2%	-
89903052	21.07	3.07	16.66	2.79	46.52	20.86	3.07	45.95	Ok	48.00	-4%	-
91701167	21.22	3.02	16.72	2.85	47.73	20.99	3.03	47.10	Ok	46.80	1%	0%
91704002	21.32	3.10	16.89	2.90	48.90	21.11	3.11	48.32	Ok	46.80	3%	3%
91703055	21.37	3.15	16.67	2.94	49.00	21.16	3.16	48.42	Ok	46.80	3%	2%
91209257	21.33	3.05	16.96	2.88	48.81	21.11	3.05	48.21	Ok	46.80	3%	3%
91209250	21.37	3.07	16.95	2.91	49.33	21.17	3.08	48.75	Ok	46.80	4%	3%

©TNC 2022

Haben die PV Module versagt?

Serial Number	Voc Raw [V]	Isc Raw [A]	Vmpp Raw [V]	Impp Raw [A]	Pmpp Raw [W]	Voc STC [V]	Isc STC [A]	Pmpp STC [W]	I/V curve commentaries	Pmpp nameplate [W]	Difference Pmpp to nameplate	Difference Pmpp to Flasher manufacturer
91621048	21.26	2.96	15.08	2.50	37.69	21.02	2.97	37.18	Rs	46.80	-21%	-21%
91620357	21.25	2.90	14.84	2.41	35.72	21.02	2.91	35.25	Rs	46.80	-25%	-25%
91613393	21.27	2.95	15.64	2.57	40.26	21.04	2.95	39.73	Semi Rs	46.80	-15%	-15%
91621017	21.25	2.70	14.40	2.34	33.72	21.02	2.70	33.28	Rs, Isc	46.80	-29%	-29%
91702360	21.21	2.92	14.82	2.53	37.44	20.97	2.93	36.91	Rs	46.80	-21%	-21%
91701156	21.12	2.91	15.18	2.64	40.04	20.90	2.91	39.52	Ok	46.80	-16%	-15%
91701144	21.08	2.90	14.26	2.59	36.99	20.79	2.90	36.37	Rs	46.80	-22%	-22%
91701160	21.14	2.90	14.05	2.57	36.07	20.92	2.90	35.60	Rs	46.80	-24%	-25%
91702075	21.13	2.89	14.29	2.57	36.68	20.91	2.89	36.21	Rs	46.80	-23%	-24%
91701145	21.07	2.88	15.24	2.50	38.14	20.85	2.88	37.66	Rs	46.80	-20%	-18%
91621015	21.19	2.93	15.12	2.61	39.53	20.96	2.94	39.00	Semi Rs	46.80	-17%	-18%
91702076	21.05	2.89	13.48	2.53	34.09	20.83	2.89	33.66	Rs	46.80	-28%	-29%
91702365	21.05	2.83	12.45	2.41	29.95	20.83	2.84	29.57	Extreme Rs	46.80	-37%	-37%
91703124	21.02	2.89	13.30	2.36	31.34	20.80	2.90	30.94	Extreme Rs	46.80	-34%	-34%
91621049	21.15	2.94	15.27	2.33	35.57	20.93	2.95	35.10	Rs, Bypass	46.80	-25%	-26%
89903051	21.15	3.10	16.18	2.84	45.97	20.94	3.10	45.40	Ok	48.00	-5%	-
89Y23101	21.28	3.13	16.75	2.84	47.56	21.06	3.13	46.95	Ok	48.00	-2%	-
89903052	21.07	3.07	16.66	2.79	46.52	20.86	3.07	45.95	Ok	48.00	-4%	-
91701167	21.22	3.02	16.72	2.85	47.73	20.99	3.03	47.10	Ok	46.80	1%	0%
91704002	21.32	3.10	16.89	2.90	48.90	21.11	3.11	48.32	Ok	46.80	3%	3%
91703055	21.37	3.15	16.67	2.94	49.00	21.16	3.16	48.42	Ok	46.80	3%	2%
91209257	21.33	3.05	16.96	2.88	48.81	21.11	3.05	48.21	Ok	46.80	3%	3%
91209250	21.37	3.07	16.95	2.91	49.33	21.17	3.08	48.75	Ok	46.80	4%	3%

- Non light-exposed modules show no power degradation

©TNC 2022

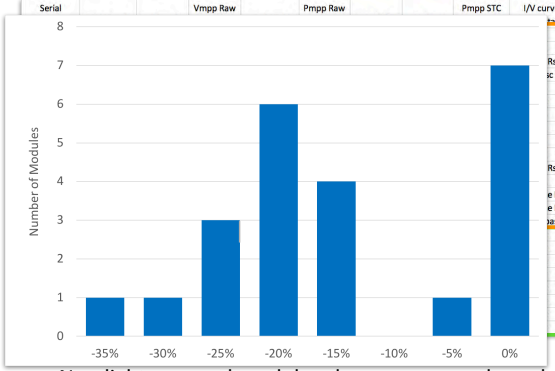
Haben die PV Module versagt?

Serial Number	Voc Raw [V]	Isc Raw [A]	Vmpp Raw [V]	Impp Raw [A]	Pmpp Raw [W]	Voc STC [V]	Isc STC [A]	Pmpp STC [W]	I/V curve commentaries	Pmpp nameplate [W]	Difference Pmpp to nameplate	Difference Pmpp to Flasher manufacturer
91621048	21.26	2.96	15.08	2.50	37.69	21.02	2.97	37.18	Rs	46.80	-21%	-21%
91620357	21.25	2.90	14.84	2.41	35.72	21.02	2.91	35.25	Rs	46.80	-25%	-25%
91613393	21.27	2.95	15.64	2.57	40.26	21.04	2.95	39.73	Semi Rs	46.80	-15%	-15%
91621017	21.25	2.70	14.40	2.34	33.72	21.02	2.70	33.28	Rs, Isc	46.80	-29%	-29%
91702360	21.21	2.92	14.82	2.53	37.44	20.97	2.93	36.91	Rs	46.80	-21%	-21%
91701156	21.12	2.91	15.18	2.64	40.04	20.90	2.91	39.52	Ok	46.80	-16%	-15%
91701144	21.08	2.90	14.26	2.59	36.99	20.79	2.90	36.37	Rs	46.80	-22%	-22%
91701160	21.14	2.90	14.05	2.57	36.07	20.92	2.90	35.60	Rs	46.80	-24%	-25%
91702075	21.13	2.89	14.29	2.57	36.68	20.91	2.89	36.21	Rs	46.80	-23%	-24%
91701145	21.07	2.88	15.24	2.50	38.14	20.85	2.88	37.66	Rs	46.80	-20%	-18%
91621015	21.19	2.93	15.12	2.61	39.53	20.96	2.94	39.00	Semi Rs	46.80	-17%	-18%
91702076	21.05	2.89	13.48	2.53	34.09	20.83	2.89	33.66	Rs	46.80	-28%	-29%
91702365	21.05	2.83	12.45	2.41	29.95	20.83	2.84	29.57	Extreme Rs	46.80	-37%	-37%
91703124	21.02	2.89	13.30	2.36	31.34	20.80	2.90	30.94	Extreme Rs	46.80	-34%	-34%
91621049	21.15	2.94	15.27	2.33	35.57	20.93	2.95	35.10	Rs, Bypass	46.80	-25%	-26%
89903051	21.15	3.10	16.18	2.84	45.97	20.94	3.10	45.40	Ok	48.00	-5%	-
89Y23101	21.28	3.13	16.75	2.84	47.56	21.06	3.13	46.95	Ok	48.00	-2%	-
89903052	21.07	3.07	16.66	2.79	46.52	20.86	3.07	45.95	Ok	48.00	-4%	-
91701167	21.22	3.02	16.72	2.85	47.73	20.99	3.03	47.10	Ok	46.80	1%	0%
91704002	21.32	3.10	16.89	2.90	48.90	21.11	3.11	48.32	Ok	46.80	3%	3%
91703055	21.37	3.15	16.67	2.94	49.00	21.16	3.16	48.42	Ok	46.80	3%	2%
91209257	21.33	3.05	16.96	2.88	48.81	21.11	3.05	48.21	Ok	46.80	3%	3%
91209250	21.37	3.07	16.95	2.91	49.33	21.17	3.08	48.75	Ok	46.80	4%	3%

- Non light-exposed modules show no power degradation
- PV modules from the plant show power degradation of 15…37%, ø 20%
- Average annual reduction of 0.55…1.32% in nominal power

©TNC 2022

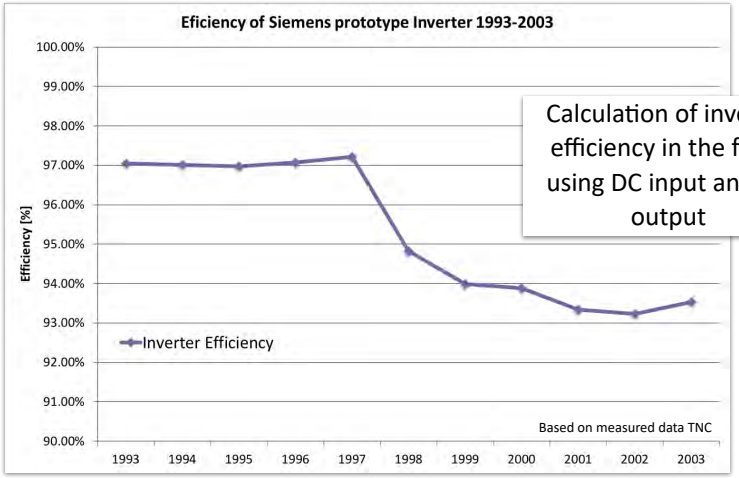
Haben die PV Module versagt?



- Non light-exposed modules show no power degradation
- PV modules from the plant show power degradation of 15…37%, ø 20%
- Average annual reduction of 0.55…1.32% in nominal power

©TNC 2022

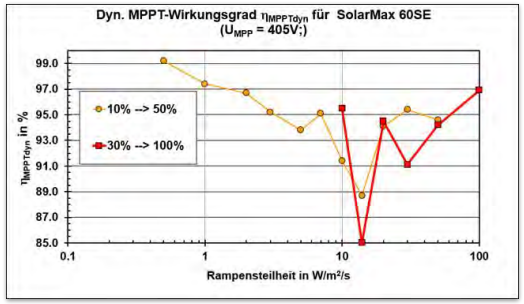
Haben die Wechselrichter versagt?



Calculation of inverter efficiency in the field, using DC input and AC output

©TNC 2022

Haben die Wechselrichter versagt?

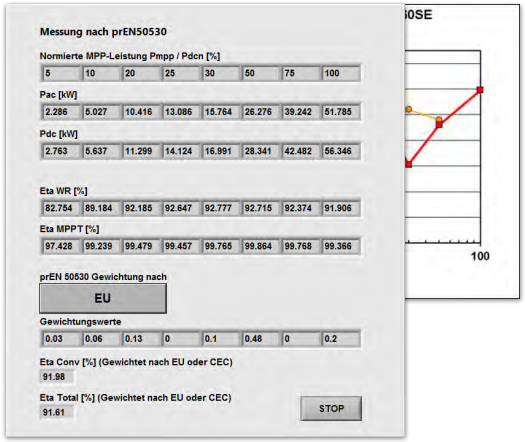


- SolarMax 60SE
- Retrofit 2005
- Measurements done at operational voltage (405 V DC)
- No comparison to original state of inverter available
- Calculated inverter efficiency first year of operation: 92.64%
- Efficiency measured at Burgdorf: 91.61%
- Reduction is only -1.12%

Based on Lab measurements BFH

©TNC 2022

Haben die Wechselrichter versagt?

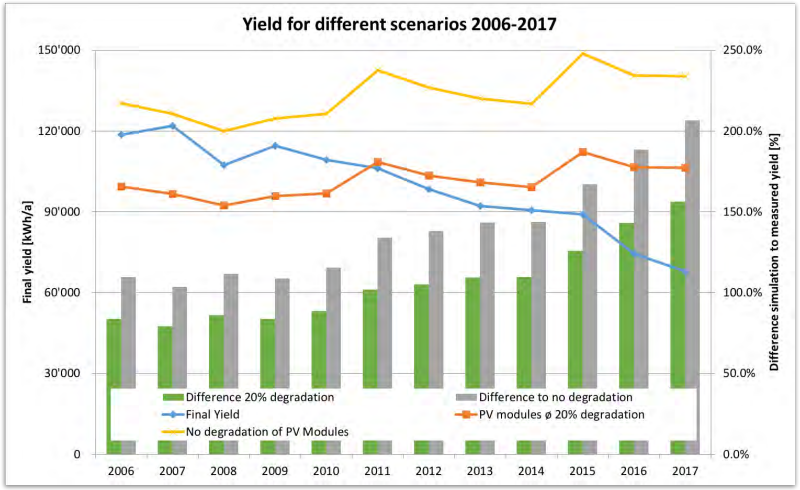


- SolarMax 60SE
- Retrofit 2005
- Measurements done at operational voltage (405 V DC)
- No comparison to original state of inverter available
- Calculated inverter efficiency first year of operation: 92.64%
- Efficiency measured at Burgdorf: 91.61%
- Reduction is only -1.12%

Based on Lab measurements BFH

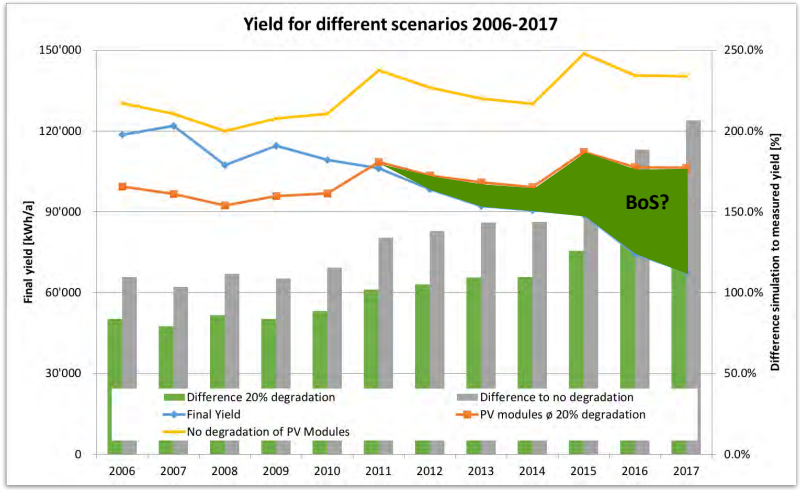
©TNC 2022

Balance of System BoS



©TNC 2022

Balance of System BoS



©TNC 2022

Balance of System BoS

©TNC 2022

Balance of System BoS

- BoS ist für 50% des Ertragsverlustes verantwortlich
- BoS beeinflusst den Ertrag mindestens so stark wie die Module und die Wechselrichter
- Um auftretendes Versagen frühst möglich festzustellen, ist eine Anlagenüberwachung mit Solarstrahlung notwendig (Performance Ratio Berechnung)
- Anschlussdosen, Klemmverbindungen, Steckverbindungen, Kabel und GAK bedürfen regelmässiger Kontrollen

©TNC 2022