

Programm „Alte Lasten – Neue Energien“

Machbarkeitsstudien zu Photovoltaikanlagen auf Deponien in der Nachsorge

Gesamtbericht

Auftraggeber:



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Projektsteuerung:

Gesellschaft zur Altlastensanierung
in Bayern mbH (GAB)
Innere Wiener Straße 11a
81667 München



Bearbeitung:

Klinger und Partner

Ingenieurbüro
für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH



Datum:

27.11.2012

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
TABELLENVERZEICHNIS.....	5
1 EINLEITUNG.....	6
2 ALLGEMEINE INFORMATIONEN ZUR ANLAGENKONZEPTION	8
2.1 Fundamentierung, Gründung, Statik.....	8
2.2 Anordnung der Module zu Modultischen und Anordnung der Tische	13
2.3 Modultypen, Vor- und Nachteile, Optik	13
2.4 Wechselrichter.....	15
2.5 Absicherung und Einspeisung	17
2.6 Datenerfassung	17
3 VORGEHENSWEISE ZUR ERMITTLUNG DER STANDORTDATEN.....	18
4 METHODIK ZUR ERMITTLUNG VON FLÄCHENABGRENZUNG UND STROMERTRAG	21
4.1 Flächenabgrenzung und –belegung für PVA-Modulaufstellung.....	21
4.2 Verarbeitung der erfassten Flächendaten	23
4.3 Globalstrahlung, spezifischer Ertrag und Verschattungswinkel aller Standorte	27
4.4 Ergebnisse der Flächenerfassung	28
4.5 Anlagenleistung und Stromertrag	29
5 METHODIK ZUR BEWERTUNG DER EINBINDUNG IN DAS LANDSCHAFTSBILD UND DES ÖKOLOGISCHEN AUSGLEICHS	31
5.1 Gesetzliche Grundlagen	31
5.2 Aufgabenstellung.....	31
5.3 Rechtliche Grundlagen und Planungsunterlagen	32
5.4 Ziele des Umweltschutzes und Angaben zu deren Berücksichtigung.....	33
5.5 Bestandsaufnahme und Bewertung der Schutzgüter und Landschaftsfaktoren	33
5.6 Konfliktanalyse	38
5.7 Ökologische Risikoeinschätzung und Konfliktermittlung	44
5.8 Landschaftsplanerische Maßnahmen	48
5.9 Eingriffsbewertung und Kostenermittlung.....	52
6 METHODIK DER WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG.....	55
6.1 Grundsätzliche Vorgehensweise	55



6.2	Nebenkosten	59
6.3	Wirtschaftlichkeitsberechnung	62
7	AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE ALLER STANDORTE	70
7.1	Nutzbare Flächen und Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht	70
7.2	Landschaftsplanerische Belange und Nebenkosten	73
7.3	Installierbare Leistung, absoluter Ertrag und Wirtschaftlichkeit	80
8	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG	92
8.1	Ermittlung der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit	92
8.2	Relevante Ergebnisse der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit.....	93
8.3	Störwirkungen und Konfliktpotenziale	94
8.4	Mögliche Synergieeffekte	95
8.5	Empfehlung zur weiteren Vorgehensweise	95
8.6	Danksagung	96
	UNTERLAGENVERZEICHNIS	98
	BILDNACHWEISE.....	99

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Beispiel einer Reihenaufstellung mit großen Montagepulten.....	8
Abb. 2: Beispiel einer PVA mit Rammfundamenten	9
Abb. 3: Beispiel Drehfundament.....	10
Abb. 4: Beispiel Betonfundament (Anordnung längs oder quer)	10
Abb. 5: Prinzipskizze von Modultischen bei 25° Modulneigung auf der Ebene	13
Abb. 6: Optische Wirkung verschiedener Zelltechnologien.....	14
Abb. 7: Beispiel Zentralwechselrichter	16
Abb. 8: Beispiel Strangwechselrichter	16
Abb. 9: Musterdeponie mit für PVA nutzbaren Flächen und anderen Angaben	22
Abb. 10: Berechnung der Tischabstände	25
Abb. 11: Relativer Ertrag in Abhängigkeit von der Südabweichung der Module	26
Abb. 12: Entwicklung der Einspeisevergütung	56
Abb. 13 Maximale spezifische Investitionskosten netto ohne Nebenkosten pro kWp	64
Abb. 14: Gesamt-Investitionskosten netto inkl. Nebenkosten	65
Abb. 15: Gesamt-Investitionskosten netto inkl. Nebenkosten und Ertrag bei 2 % Rendite.....	66
Abb. 16: Gesamt-Investitionskosten netto inkl. Nebenkosten und Ertrag bei 4 % Rendite.....	67
Abb. 17: Wirtschaftlichkeit PVA auf der Musterdeponie ohne staatliche Förderung.....	68
Abb. 18: Wirtschaftlichkeit PVA auf der Musterdeponie mit staatlicher Förderung.....	69
Abb. 19: Prozentuale Verteilung der Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht.....	73
Abb. 20: Prozentuale Verteilung des Gesamtfazits der landschaftsplanerischen Belange.....	76
Abb. 21: Nebenkosten, Kosten Netzanbindung und landschaftsplanerische Belange	79
Abb. 22: Gewinn in 20 Jahren und äquivalenter Bankzins ohne staatliche Förderung.....	82
Abb. 23: Leistung der PVA und äquivalenter Bankzins mit staatlicher Förderung.....	83
Abb. 24: Äquivalenter Bankzins mit und ohne Förderung.....	84
Abb. 25: Äquivalenter Bankzins nach Klassen	85
Abb. 26: Investition und Nebenkosten bezogen auf die Anlagenleistung (mit Trendlinien)	86
Abb. 27: Summenhäufigkeit der installierbaren Leistung.....	87
Abb. 28: Summenhäufigkeit des äquivalenten Bankzinses ohne staatliche Förderung	88
Abb. 29: Summenhäufigkeit der Investitionskosten	89
Abb. 30: Leistung der PVA in kWp und Ertrag in MWh/a.....	90
Abb. 31: Ertrag der PVA in MWh/a und Anzahl der versorgbaren Durchschnittshaushalte.....	91

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1 Fundamentart und Mindestmächtigkeit der Rekultivierungsschicht	12
Tab. 2: Eigenschaften von Zell-Technologien	15
Tab. 3: Erfassungsblatt der Teilfläche TF 5.....	23
Tab. 4: Standortdaten	27
Tab. 5: Ergebnisse der Flächenerfassung.....	28
Tab. 6: Leistung sowie spezifischer und absoluter Ertrag.....	30
Tab. 7: Bestandsbewertung Schutzgut Boden	35
Tab. 8: Empfindlichkeit Schutzgut Boden	35
Tab. 9: Kaltluftproduktionsraten	37
Tab. 10: Baubedingte Wirkungen.....	40
Tab. 11: Anlagenbedingte Wirkungen	41
Tab. 12: Betriebsbedingte Wirkungen	42
Tab. 13: Zusammenfassung Wirkfaktoren Planung.....	43
Tab. 14: Beeinträchtigungen Schutzgut Flora, Fauna und Biologische Vielfalt	45
Tab. 15: Beeinträchtigungen Schutzgut Wasser	46
Tab. 16: Beeinträchtigungen Schutzgut Luft und Klima.....	46
Tab. 17: Beeinträchtigungen Schutzgut Landschaft	47
Tab. 18: Kostenansätze für landschaftsplanerische Belange (Kompensationsfaktor 0,1 – 0,2)	54
Tab. 19: Kostenansätze für landschaftsplanerische Belange (Kompensationsfaktor 1,0 – 1,2)	54
Tab. 20: „Atmende“ Vergütungsabsenkung [5].....	57
Tab. 21: Allgemeine Kostenansätze für Nebenkosten.....	59
Tab. 22: Nebenkosten am Standort Musterdeponie	61
Tab. 23: Nebenkosten am Standort Musterdeponie	62
Tab. 24: Nutzbare Flächen und Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht.....	71
Tab. 25: Minima, Maxima und Durchschnittswerte aus Tabelle 24.....	72
Tab. 26: Skala zur Wertung der der landschaftsplanerischen Belange.....	74
Tab. 27: Wertung der landschaftsplanerischen Belange	75
Tab. 28: Nebenkosten, Kosten Netzanbindung und landschaftsplanerische Belange	77
Tab. 29: Minima, Maxima und Durchschnittswerte aus Tabelle 28.....	78
Tab. 30: Installierbare Leistung, absoluter Ertrag und Wirtschaftlichkeit.....	81
Tab. 31: Minima, Maxima und Durchschnittswerte aus Tabelle 30.....	82

1 EINLEITUNG

Die Bayerische Staatsregierung hat in ihrem Energiekonzept „Energie innovativ“ den Ausbau erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2021 bekräftigt, wobei dem Ausbau der Stromgewinnung aus Photovoltaikanlagen (PVA) eine besondere Bedeutung zukommt. Für die Errichtung von PVA auf Freiflächen kommen insbesondere auch stillgelegte Deponieflächen in Frage.

Hierzu hat das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) Machbarkeitsstudien für PVA auf insgesamt 41 potenziell geeigneten bayerischen Deponien auf 40 Standorten (DKI/II, in der Nachsorgephase, 2 Deponien auf einem Standort) durchführen lassen. Diese werden den zuständigen öffentlich-rechtlichen Entscheidungsträgern vor Ort zur Verfügung gestellt, um die jeweilige Standorteignung für PVA und deren potenzielle Wirtschaftlichkeit einzuschätzen.

Die Untersuchungen wurden von der Fa. Klinger und Partner Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH (KuP) durchgeführt. Das Büro ist als unabhängiges technisches Ingenieurbüro mit seinen Unternehmensbereichen Infrastruktur und Umweltwirtschaft in allen Dienstleistungen im kommunalen Tiefbau sowie den Spezialgebieten Deponietechnik und Altlastensanierung tätig.

Die EGS-plan, Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik, ergänzt das Planungsteam auf dem Gebiet der Photovoltaiktechnik. Die Beurteilung bezüglich der Einbindung in das Landschaftsbild und des ökologischen Ausgleichs wurde von Herrn Rainer Rübsamen, Freier Landschaftsarchitekt, bearbeitet.

Mit der Steuerung dieses Projekts hat das LfU die Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern mbH (GAB) beauftragt.

Das bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) hat die finanziellen Mittel für die Machbarkeitsstudien bereitgestellt. Darüber hinaus hat das StMUG ein Förderprogramm für PVA auf Altlasten und stillgelegten Deponien aufgelegt. Damit soll ein Anreiz geschaffen werden, PVA - trotz erhöhtem Aufwand bei Planung und Bau - auf derartigen Flächen zu errichten.

Mit der Aufstellung dieses Gesamtberichts soll neben der Darstellung der grundsätzlichen Vorgehensweise bei der Standortbegehung und Datenrecherche, der Flächenabgrenzung und Ermittlung des Stromertrags und der Wirtschaftlichkeit auch die Einbindung in das Landschaftsbild und das damit einhergehende ökologische Konfliktpotenzial aufgezeigt werden. In den folgenden Kapiteln 2 bis 6 wird die in den jeweiligen Verfahrensschritten der Machbarkeitsstudien angewandte Methodik dargelegt.



Die zusammenfassende Auswertung der Ergebnisse aller 40 Standorte folgt in Kapitel 7. Mit der Gegenüberstellung der wesentlichen Standortdaten in Tabellenform sowie in Grafiken wird weiterhin der Versuch unternommen, einzelne Standorte hinsichtlich ihrer Größe, Geometrie und Infrastruktur einem Vergleich zu unterziehen, um hieraus Trends bezüglich der grundsätzlichen Eignung eines Standortes für die Installation einer PVA abzuleiten.

2 ALLGEMEINE INFORMATIONEN ZUR ANLAGENKONZEPTION

Die folgenden Kapitel 2.1 bis 2.6 enthalten allgemeine Informationen zur Konzeption von PVA. Die Übertragung auf einen Musterstandort erfolgt in den Kapiteln 4ff.

2.1 Fundamentierung, Gründung, Statik

Die Aufstellung von PV-Modulen erfolgt bei Freiflächen- bzw. Deponieanlagen in der Regel auf großen Montagegestellen in Reihenform. Um eine möglichst rationelle und damit preisgünstige Montage zu erreichen, werden mehrere Module auf ein Gestell montiert. Dadurch reduzieren sich z. B. die Fundamentierungsarbeiten und der Aufwand für die Verkabelungsarbeiten.



Abb. 1: Beispiel einer Reihenaufstellung mit großen Montagepulten

Die Montagegestelle werden normalerweise aus korrosionsfesten Aluminiumprofilen oder verzinkten Stahlprofilen aufgebaut.

Zur Verankerung am Boden stehen bei Deponieanlagen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Die verschiedenen Gründungsarten werden im Weiteren prinzipiell erörtert. In den einzelnen Machbarkeitsstudien wird eine tendenzielle Empfehlung für den Standort gegeben, wobei eine abschließende Aussage erst im Rahmen einer konkreten Planung und nach Durchführung von bodenmechanischen Untersuchungen mit Belastungsversuchen gemacht werden kann.

Belastungsversuche dienen dazu, Werte für die Mantelreibung der einzusetzenden Gründung für den Untergrund zu ermitteln, die als Basis für eine Systemstatik dienen. Im Falle der geplanten Realisierung einer PVA wird empfohlen, diese Versuche im Vorfeld der Ausschreibung mit üblichen Profilen (z. B. Rammprofil Sigma100 oder Bohrpfahl) durchzuführen, um den Bietern Kalkulationssicherheit zu bieten.

Die für den konkreten Fall zu erstellende Systemstatik berücksichtigt die Standortbedingungen (Schnee- und Windlast, Höhe ü. NN), die Bodenwerte, die geplante Gründungsmethode, die Eigenschaften der geplanten Gründungsmaterialien u.a..

Grundsätzlich kommen zur Fundamentierung in oder auf einer Rekultivierungsschicht die folgenden Verfahren in Frage:

- Rammfundamente, Bohrpfähle,
- Dreh- bzw. Schraubfundamente,
- Betonfundamente (Streifen- bzw. Einzelpunktfundamente, Betonplatten),
- sonstige „aufgesetzte“ Systeme (z. B. Verankerung auf Gabionen oder Beton-L-Steinen).



Abb. 2: Beispiel einer PVA mit Rammfundamenten



Abb. 3: Beispiel Drehfundament



Abb. 4: Beispiel Betonfundament (Anordnung längs oder quer)

Eine Beschädigung der Deponie-Oberflächenabdichtung muss bei allen Arten der Fundamentierung sicher ausgeschlossen werden können. Gemäß den Empfehlungen des Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards 7-4a: „Technische Funktionsschichten – Photovoltaik auf Deponien“ der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ [1] ist grundsätzlich ein Abstand von

mindestens 50 cm zur Entwässerungsschicht einzuhalten. Ein Mindestabstand von 50 cm zur Oberkante der Entwässerungsschicht ist als Soll-Empfehlung analog in der Deponie-Info 2: „Photovoltaikanlagen auf Deponien“ des Bayerischen Landesamtes für Umwelt [2] genannt.

Die untere Grenze der Einbindetiefe von Rammfundamenten in die Rekultivierungsschicht liegt bei gut geeigneten Bodenarten nach unseren Erfahrungen (abhängig von den Bodenkennwerten) bei etwa 1,2 m. Beim Einsatz von Drehfundamenten genügt eine etwas geringere Einbindetiefe, da sie höhere Auszugswerte erreichen. Sie sind allerdings etwas teurer als Rammfundamente. Bei Drehfundamenten sehen wir die Untergrenze bei einer Einbindetiefe von ca. 0,8 m. Die genannten Grenzen sind im Rahmen der Detailplanung immer durch Belastungsversuche zu verifizieren.

Bei einer flächigen geringen Erdüberdeckung oder in Randbereichen können Betonfundamente verwendet werden. Diese bestehen entweder aus Fertigteilen, die zum Teil über die Oberfläche der Deponie ragen, oder es werden Fundamente gegraben und die Gründungspfähle eingegossen. Die Verwendung von Betonfundamenten führt zu einer höheren Bodenversiegelung als Ramm- oder Drehfundamente. Alternativ zu Betonfundamenten sind auch auf die Oberfläche aufgesetzte Systeme, die über ihr Gewicht wirken, denkbar (Gabionen, L-Steine, etc.).

Eine der untersuchten Deponien wurde im Zuge der Rekultivierung mit einem Leck-Ortungssystem (Fa. Geologger) versehen, um jegliche Undichtigkeit schnell und genau auffinden zu können. Dazu sind zwei Lagen Elektroden über die gesamte Fläche verteilt eingebaut. Elektrische Unterverteiler sind am Rand der Abdichtung installiert. Die Signale laufen im Betreibergebäude zusammen und werden dort automatisch überwacht.

Grundsätzlich findet nach Rücksprache mit einem der Hersteller von Dichtungskontrollsystemen (DKS), der Firma PROGEO Monitoring GmbH, sowie nach unserer Einschätzung und gestützt durch praktische Erfahrungen - beispielhaft sei die Deponie Ulm-Eggingen genannt - keine Funktionsbeeinflussung eines Dichtungskontrollsystems durch eine installierte PVA statt, sofern die Messelektroden in üblicher Weise unterhalb der Kunststoffdichtungsbahn installiert sind. Reine Geberelektroden im Schichtensystem oberhalb der Kunststoffdichtungsbahn können dabei unberücksichtigt bleiben.

Wenn Messelektroden oberhalb der Kunststoffdichtungsbahn installiert sind, dann müssen für eine erfolgreiche Messung Potenzialdifferenzen auch oberhalb der Dichtung möglich sein. Dies ist bei DKS-Systemen älterer Bauart der Fall, so auch auf einer der untersuchten Deponien. PV-Unterkonstruktionen, die zum Zwecke der gemeinsamen Erdung großflächig elektrisch miteinander verbunden sind, können dies behindern. In solchen Fällen muss ein isolierter Aufbau der PV-

Anlagesegmente mit Trennung der PV-Anlagenträger von den Fundamentelementen erfolgen, um die Funktion eines Dichtungskontrollsystems zu ermöglichen. Inwieweit dies mit der Konstruktion des PV-Anlagenaufbaus möglich ist, muss im Rahmen einer Detailplanung geprüft werden.

Unter Berücksichtigung des empfohlenen Schutzabstandes von 50 cm zur Entwässerungsschicht sind somit folgende Mindestmächtigkeiten der Rekultivierungsschicht erforderlich:

Tab. 1 Fundamentart und Mindestmächtigkeit der Rekultivierungsschicht

Fundamentart	Mindestmächtigkeit Reku-Schicht
Rammfundamente	1,7 m
Drehfundamente	1,3 m
Beton- u. sonstige Fundamente	> 0,5 m (je nach Art des Fundaments)

Grundsätzlich ist aus unserer Sicht der Abstand zur Dichtungsebene entscheidend. Es ist daher unseres Erachtens denkbar, dass abweichend von den vorgenannten Empfehlungen des BQS 7-4a bzw. des Bayerischen Landesamtes für Umwelt auch die Stärke einer unterhalb der Rekultivierungsschicht angeordneten Entwässerungsschicht für den Schutzabstand zur Dichtungsebene angerechnet werden könnte, da ein Eindringen der Fundamente in eine ausreichend mächtige Entwässerungsschicht nicht zu einer Beeinträchtigung der hydraulischen Ableitkapazität führt. Ein Abweichen von den genannten Empfehlungen bezüglich des Schutzabstands zur Dichtungsebene ist jedoch im Einzelfall zwingend gutachterlich zu prüfen und mit der zuständigen Behörde abzuklären. Dies wird auch in der genannten Deponie-Info 2 des LfU so dargestellt.

Im Rahmen der Datenrecherche vor Ort konnte bzgl. der Rekultivierungsschichtdicke grundsätzlich eine durchgängig relativ geringe Dicke mit häufigen 1,0 – 1,2 m und in wenigen Ausnahmen (ca. 10 % der begutachteten Standorte) mit 1,4 – 1,6 m festgestellt werden. Die Auswahlmöglichkeiten der Fundamentierungsart wird bei geringer werdender Mächtigkeit stark begrenzt und die diesbezügliche Planung stellt eine der Hauptaufgaben bei der Installation von PVA auf gedichteten Deponieflächen dar.

Grundvoraussetzungen für eine allfällige Umsetzung sind für die gesamte Fläche lückenlos vorliegende Vermessungsdaten in guter Qualität und eine äußerst sorgfältige Kontrolle während der Bauausführung. Im Regelfall ist zudem die Durchführung zusätzlicher punktueller Aufgrabungen zur Verifizierung der Vermessungsdaten zu empfehlen.

2.2 Anordnung der Module zu Modultischen und Anordnung der Tische

Es werden immer mehrere Module auf einem Modultisch angeordnet. Eine übliche Anordnung ist z. B. 2 Reihen Module (1 x 1,7 m) hochkant übereinander und 9 bis 12 Module nebeneinander. Dies ergibt bei Modulen mit 240 Wattpeak (Wp) Leistung eine Leistung von 4,3 bis 5,8 Kilowattpeak (kWp) je Tisch.

In Nord-Süd-Richtung sind Abstände zwischen den geneigten Tischen notwendig. Diese richten sich nach dem so genannten Verschattungswinkel, der standortabhängig den Sonnenstandswinkel um 12 Uhr am 21. Dezember eines Jahres angibt. Außerdem hängen die Tischabstände vom Aufstellwinkel der Module zur Waagerechten und der Hangneigung ab. Je steiler der Hang ist, umso enger kann der Abstand der Tische zueinander gewählt werden und umso höher ist die Belegungsichte der Hangfläche.

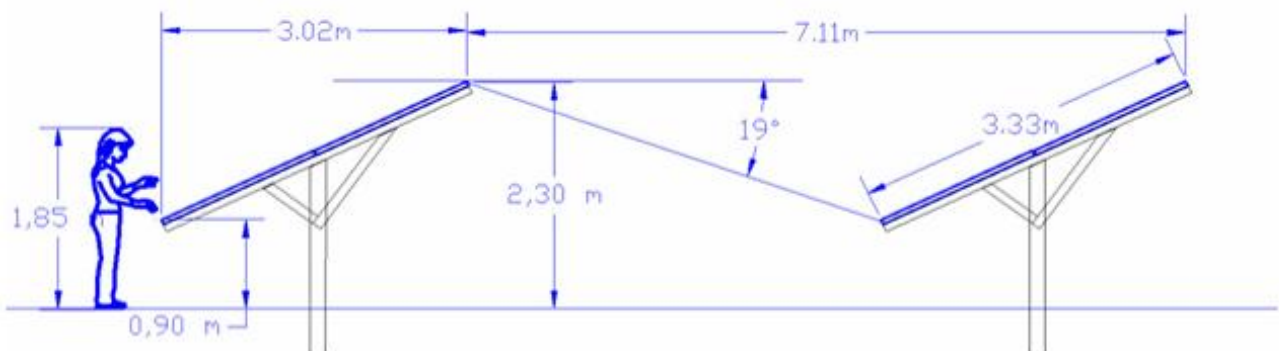


Abb. 5: Prinzipskizze von Modultischen bei 25° Modulneigung auf der Ebene

2.3 Modultypen, Vor- und Nachteile, Optik

Photovoltaikmodule (PV-Module) werden hinsichtlich der verwendeten Solarzelltypen und der Rahmengestaltung unterschieden.

Die mit einem Marktanteil von ca. 85 % gebräuchlichsten Module sind kristalline Siliziummodule mit mono- oder polykristallinen Solarzellen [9].

Monokristalline Solarzellen weisen den höchsten elektrischen Wirkungsgrad auf, sind jedoch in der Herstellung aufwendig und daher oft etwas teurer. Ihr optisches Erscheinungsbild ist gleichmäßig von dunkelblauer bis schwarzer Farbe. Sie haben häufig keine quadratische Form, sondern wegen

der Herstellungsprozesse abgerundete Ecken. Dies reduziert die Flächenausnutzung und damit den Modulwirkungsgrad.

Polykristalline Solarzellen können dagegen problemlos in eine quadratische Form gesägt werden. Der resultierende Modulwirkungsgrad ist in der Regel genauso hoch wie bei monokristallinen Modulen. Durch das einfachere Herstellungsverfahren ist der Energieaufwand deutlich reduziert, so dass von einer – standortabhängigen - etwa halbierten „Energy-Payback-Time“ von drei Jahren ausgegangen werden kann. Durch die polykristalline Struktur der Zellen ergibt sich ein fleckiges Aussehen bei blauer Färbung, das nur bei relativ nahen Betrachtungsabständen zu erkennen ist. Aus größerer Entfernung sind kaum Unterschiede zwischen den beiden Zelltypen zu erkennen.

Die Solarzellen werden zwischen eine vordere und eine rückseitige Glasscheibe bzw. eine Kunststoffolie eingebettet. Diesen Vorgang nennt man Laminieren, wodurch sich auch die Bezeichnung Laminat für das PV-Modul eingebürgert hat. Zusätzlich werden die Lamine üblicherweise mit einem umlaufenden Aluminiumrahmen versehen, was die mechanische Stabilität erhöht. Alle Module sind auf der Rückseite mit einer elektrischen Anschlussdose versehen.

Außer den genannten mono- und polykristallinen Modulen gibt es so genannte Dünnschichtmodule, bei denen die optisch aktiven Schichten auf ein Trägerglas aufgedampft werden. Als Grundmaterial dienen entweder Silizium (amorphe Siliziumschicht, a-Si) oder verschiedene Halbleiterverbindungen wie z. B. Kupferindiumdiselenid (CIS) oder Cadmiumtellurid (CdTe).

In Abbildung 6 ist die optische Wirkung der beschriebenen Zelltypen dargestellt.

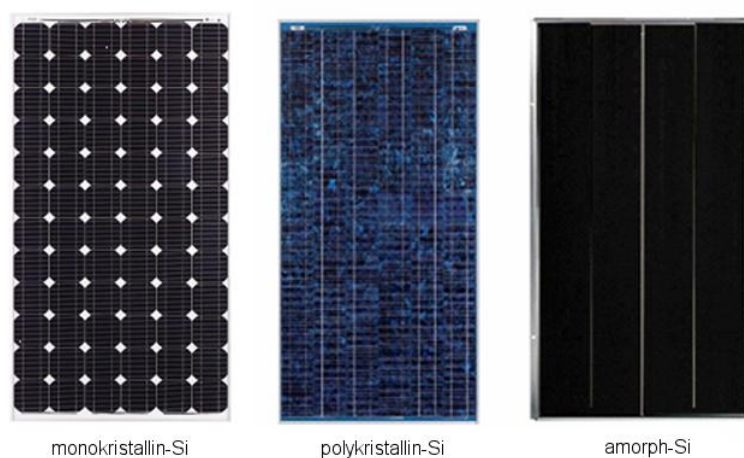


Abb. 6: Optische Wirkung verschiedener Zelltechnologien

Von allen Dünnschichtmodulen sind im großen Maßstab derzeit lediglich CdTe-Module verbreitet. Amorphe Si-Module haben geringe Wirkungsgrade von 6 % – 8 % und benötigen damit praktisch die doppelte Fläche wie hochwertige kristalline Module. CIS-Module weisen zwar ähnliche Wirkungsgrade wie CdTe-Module auf, sind jedoch in der Herstellung teurer. Aus den genannten Gründen werden für große Solarparks auf Deponien überwiegend kristalline Module eingesetzt, deren Einsatz in dieser Studie unterstellt wird.

Tabelle 2 stellt die technischen Eigenschaften der kristallinen und der CdTe-Technologie einander gegenüber. In der dritten Zeile werden die in der Studie verwendeten Parameter angegeben.

Tab. 2: Eigenschaften von Zell-Technologien

Modultyp	Typisches Modulmaß L x B [cm]	Typische Modulleistung [Wp]	Elektrischer Wirkungsgrad [%]	Modulfläche für 1 kWp [m ²]
Kristallines Silizium	165 x 100	230 - 250	14,1 - 15,3	6,8 - 7,4
CdTe-Dünnschicht	120 x 60	75 - 85	10,5 - 11,8	8,5 - 9,5
In der Studie verwendete kristalline Technologie	165 x 100	240	14,7	7,1

2.4 Wechselrichter

Wechselrichter (WR) wandeln die von den Modulen gelieferte Gleichspannung in eine netzkonforme Wechselspannung um.

Man unterscheidet Geräte kleiner Leistung (< 50 kWp), so genannte Strangwechselrichter, die meist dezentral platziert werden und größere Modelle (100 bis 1000 kWp), so genannte Zentralwechselrichter.

Anlagen kleinerer Gesamtleistung werden in der Regel aus mehreren Strangwechselrichtern aufgebaut. Vorteile, die für Strangwechselrichter sprechen, sind, dass Geräte dieser Bauart derzeit wegen ihrer trafolosen Bauweise die besten Wirkungsgrade aufweisen, günstig als Standardgeräte angeboten werden und mit ihnen sehr flexible Modulverschaltungen möglich sind.

Trotz der systembedingten Vorteile der dezentralen Lösungen werden sehr große Anlagen (> 2 MWp) meist mit Zentralwechselrichtern ausgeführt, da hier die Kostenvorteile überwiegen. Nachdem mehr und mehr Geräte auch modular aufgebaut werden, ist auch hier im Falle eines Defekts oft nicht die komplette Anlage betroffen und die Reparatur kann verhältnismäßig einfach erfolgen.

Allerdings werden zentrale WR ab einer gewissen Größe nur auf Kundenwunsch individuell gefertigt, was längere Lieferzeiten bedingt und unflexibel bei möglichen Auslegungsänderungen ist. Zudem werden die Geräte teilweise nur in Verbindung mit einem Vollwartungsvertrag angeboten. Es sind Geräte verfügbar, die betriebsfertig in einem Fertigteilgebäude (Garagengröße) angeliefert werden und neben den WR-Einheiten gleich einen Trafo für die Mittelspannungsebene integriert haben. Dieses hat den Vorteil, dass die Fertigteilereinheit auf dem Freilandgelände individuell platziert werden und somit eine Optimierung hinsichtlich der Kabellängen vorgenommen werden kann. Im Feld werden dann zusätzlich Generatoranschlusskästen installiert, in denen mehrere Modulstränge parallel verschaltet werden.

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen einen Zentralwechselrichter (ca. 2,2 m hoch) und einen Strangwechselrichter ($L * B * T = \text{ca. } 0,65 * 0,65 * 0,25 \text{ m}$) in unterschiedlichem Maßstab.



Abb. 7: Beispiel Zentralwechselrichter



Abb. 8: Beispiel Strangwechselrichter

2.5 Absicherung und Einspeisung

Eine PVA erfordert aufgrund der sehr hohen Spannungen (400 – 700 V) im Generatorkreis und der Gefahr der Lichtbogenbildung durch die Gleichspannung umfangreiche Absicherungsmaßnahmen. Deshalb darf der Zugang zu den Modulen nur für berechtigte Personen möglich sein. Eine Einzäunung der Anlage ist aus diesem Grund zwingend erforderlich. Diese Forderung wird oft durch den üblicherweise um eine Deponie gezogenen Zaun erfüllt, ggf. muss dieser noch mit einem Übersteigschutz ertüchtigt werden. Die Unterkante einer neuen Zaunbespannung befindet sich 15 cm über der Geländeoberfläche, so dass der Zaun für Kleinsäuger kein Hindernis darstellt. Bei Realisierung einer Zaunanlage ist die Ausführung mit der Naturschutzbehörde abzustimmen.

Die PVA stellt aufgrund ihrer Investitionssumme einen erheblichen Wert dar, so dass durch einen unmittelbaren oder mittelbaren Blitzeinschlag beträchtliche Kosten entstehen können. In der Regel wird daher von fast allen Versicherungsunternehmen die Ausführung eines Basis-Blitzschutzes verlangt. Dieser besteht z. B. aus Fangstangen an den Trafo-WR-Stationen, einer sorgfältigen Erdung aller Modulgestelle und dem Einsatz von gleichstromseitigen Blitzstrom-Überspannungsableitern.

2.6 Datenerfassung

Zur Betriebsführung, also die laufende Erfassung von Betriebsdaten, Betriebszuständen und Fehlermeldungen, wird ein so genannter Datenlogger verwendet. Dieser erfasst insgesamt und je Wechselrichter u.a. den aktuellen Ertrag, die Anlagenleistung, Tages-, Monats- und Jahreserträge sowie Temperatur- und Strahlungsdaten und übermittelt diese turnusmäßig (z. B. im Viertelstundenrhythmus) üblicherweise über das GSM-Mobilnetz auf ein Datenportal. Vom Datenportal kann der Betreiber sämtliche aktuellen und historischen Daten aufbereitet abrufen. Ebenfalls werden bei Auftreten einer Störung oder eines Fehlers der Anlage Meldungen versandt, wodurch eine schnelle Reaktion des Betreibers möglich ist.

3 VORGEHENSWEISE ZUR ERMITTLUNG DER STANDORTDATEN

Im Zuge der Projektstartbesprechung am LfU Augsburg am 10.02.2012 wurde der Klinger und Partner GmbH (KuP) von Seiten des Auftraggebers eine Gesamtliste aller ausgewählten Deponiestandorte, u. a. mit Angaben zur Deponiegröße, zu den Eigentumsverhältnissen und der Betreibersituation der Deponie, ausgehändigt. Im Vorfeld waren seitens des Projektsteuerers GAB anhand einer durch das LfU bereitgestellten Deponieauswahlliste insgesamt 76 Deponieträger auf ihr Interesse zur Teilnahme am Projekt angesprochen worden: 49 Betreiber erteilten ihr Einverständnis, 3 davon mussten ausscheiden (Gründe: privater Grundstückseigentümer, Endabdeckung erst in 2025 geplant oder bereits vorliegende Machbarkeitsstudie). Die verbleibenden 46 Standorte wurden im Zuge der Studie betrachtet, 5 schieden nach einer Ortsbegehung aus der weiteren Betrachtung aus. In der Gesamtliste wurden auch die jeweiligen Ansprechpartner mit Telefon-Nr. und E-Mail- Adresse benannt und erste Informationen aus einem Telefonkontakt zwischen der GAB und den Trägern der Deponie gegeben.

Als wichtige Planungsgrundlage und für die Ortsbegehung unerlässlich wurde für jeden Deponiestandort ein Luftbild mit Höhenlinien durch das LfU erstellt und der KuP für ihre jeweilige Standortrecherche zur Verfügung gestellt.

Um ein möglichst vergleichbares und standardisiertes Bearbeitungsverfahren zu ermöglichen, wurde eine Checkliste aufgestellt, die sich wesentlich an der Leistungsanfrage des Auftraggebers orientierte.

Die Gliederung der Checkliste sah u. a. wie folgt aus:

1. Allgemeine Angaben zum Träger / Betreiber der Deponie und den Eigentumsverhältnissen mit Anschrift des jeweiligen Ansprechpartners.
2. Standortbeschreibung mit folgenden Angaben:
 - Lage des Standortes,
 - Aktuelle Nutzung,
 - Umgebungsnutzung,
 - Erschließung innerhalb und außerhalb,
 - möglicher Standort für einen Trafo und Hinweise zum Netzeinspeisepunkt,
 - Kontaktdaten zum Netzbetreiber,
 - Übergabe bzw. Informationen zu Bestandsdaten und –plänen,
 - Aufbau des Dichtsystems,

- Dicke der Rekultivierungsschicht,
- Genehmigungssachstand,
- Stand zu Flächennutzungs- und Bebauungsplan.

3. Information zur Oberflächengestaltung und zum Landschaftsbild

- Topografie mit Angaben zum Flächenzuschnitt, Gesamtfläche, nutzbare Fläche, Neigungsverhältnissen, Verschattungsbereichen etc.
- Störwirkungen z. B. infolge Blendwirkung der Module
- Landschaftsplanerische Belange mit vorhandener und geplanter Vegetation sowie deren Bedeutung in Bezug auf einen erhaltenswerten Biotopcharakter sowie übergeordneten Schutzgebietsstatus im Landschaftsraum.

Die Checkliste wurde den Deponiebetreibern im Vorfeld einer Standortbegehung mit der Bitte zugesendet, diese möglichst lückenlos spätestens bis zur Begehung auszufüllen.

Beim Vor-Ort-Termin wurden z. T. offene Punkte in einer gemeinsamen Diskussion geklärt und in die Liste aufgenommen.

Wichtige genehmigungsrelevante Punkte oder Bestandsunterlagen konnten häufig vor Ort gesichtet werden oder wurden durch die Betreiber im Anschluss an das Gespräch zugesendet.

Im Zuge der im Anschluss an das Interview erfolgten Standortbegehung konnten alle relevanten Sachverhalte wie z. B. Lage und Topografie der Fläche, Flächenausrichtung, Nutzungsbereich, Erschließung der Fläche, Umzäunung, Umgebungssituation, ggf. möglicher Trafostandort und Netzeinspeisepunkt, bauliche Anlagen zur Entwässerung, Sickerwasserrückführung und Entgasung etc. besichtigt und in die Lageplanskizze eingetragen werden.

Zur Dokumentation wurden alle wichtigen Geländeverhältnisse und Baulichkeiten fotografiert. Die für eine PVA nutzbaren Flächen wurden vor Ort in der Lageplanskizze gekennzeichnet.

Bei einigen der untersuchten Standorte befindet sich ein Mittelspannungsanschluss bereits auf dem Deponiegelände, weil z. B. die Gasverstromungsanlage mittels BHKW in das Mittelspannungsnetz einspeist. In diesen Fällen wurde angenommen, dass auch eine PVA diesen Netzverknüpfungspunkt verwenden kann.

In allen anderen Fällen wurden zur Feststellung des möglichen Netzeinspeisepunktes formlose Anfragen bei dem für den jeweiligen Standort zuständigen Netzbetreiber gestellt. In den überwiegend



den Fällen wurde von den Netzbetreibern darauf verwiesen, dass eine Netzprüfung und eine sich daraus ergebende Zuweisung eines Netzverknüpfungspunktes in das Mittelspannungsnetz nur auf formellen Antrag hin und anhand eines konkreten Bauvorhabens durchgeführt werden kann. Zudem ist die Aussage nur für ein halbes bis ein Jahr bindend. Meist ist diese Prüfung für den Auftraggeber kostenpflichtig, falls eine PVA anschließend doch nicht gebaut werden sollte.

Bei Standorten mit nicht klärbarer Netzeinspeisemöglichkeit wurde die Entfernung zur nächstgelegenen Gemeinde bzw. Industrie- oder Gewerbegebiet zur Festlegung der Einspeiseentfernung verwendet.

Die recherchierten Daten, Informationen und Planskizzen waren Grundlage für die weitere Bearbeitung der Machbarkeitsstudien für die einzelnen Deponien.

4 METHODIK ZUR ERMITTLUNG VON FLÄCHENABGRENZUNG UND STROMERTRAG

4.1 Flächenabgrenzung und –belegung für PVA-Modulaufstellung

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der für eine PVA zur Verfügung stehenden Fläche bis hin zur Ermittlung des zu erwartenden Jahresertrags wird im Folgenden an einem Beispiel erläutert.

Das Beispiel beschreibt einen untersuchten Standort unter der Bezeichnung „Musterdeponie“, d. h. ohne Nennung des Deponienamens und mit teilweise beispielhaften, nicht auf den Standort übertragbaren Daten.

Durch das LfU wurden Rauminformationsdaten im PDF-Format in unterschiedlichem Maßstab für jeden Standort zur Verfügung gestellt. In diese Pläne wurden die bei der Ortsbesichtigung ermittelten Flächen (maximal sechs) mit einem speziellen Werkzeug maßstabsgetreu eingezeichnet und ihre Größe in der Draufsicht bestimmt (rot umrandete grüne Felder). Anhand der Ausrichtung der Flächen wurde die Ausrichtung von Modultischen bzw. der PV-Module ermittelt und mit blauem Doppelpfeil gekennzeichnet. Des Weiteren wurden nicht überbaubare Wege (weinrot) gekennzeichnet und ihre Länge bestimmt. Falls am Standort kein oder nur teilweise ein Zaun vorhanden ist, wurde ein neuer Zaun (violett gestrichelt) eingezeichnet und vermessen. Zusätzlich wurden Verschattungen gekennzeichnet und vermessen.

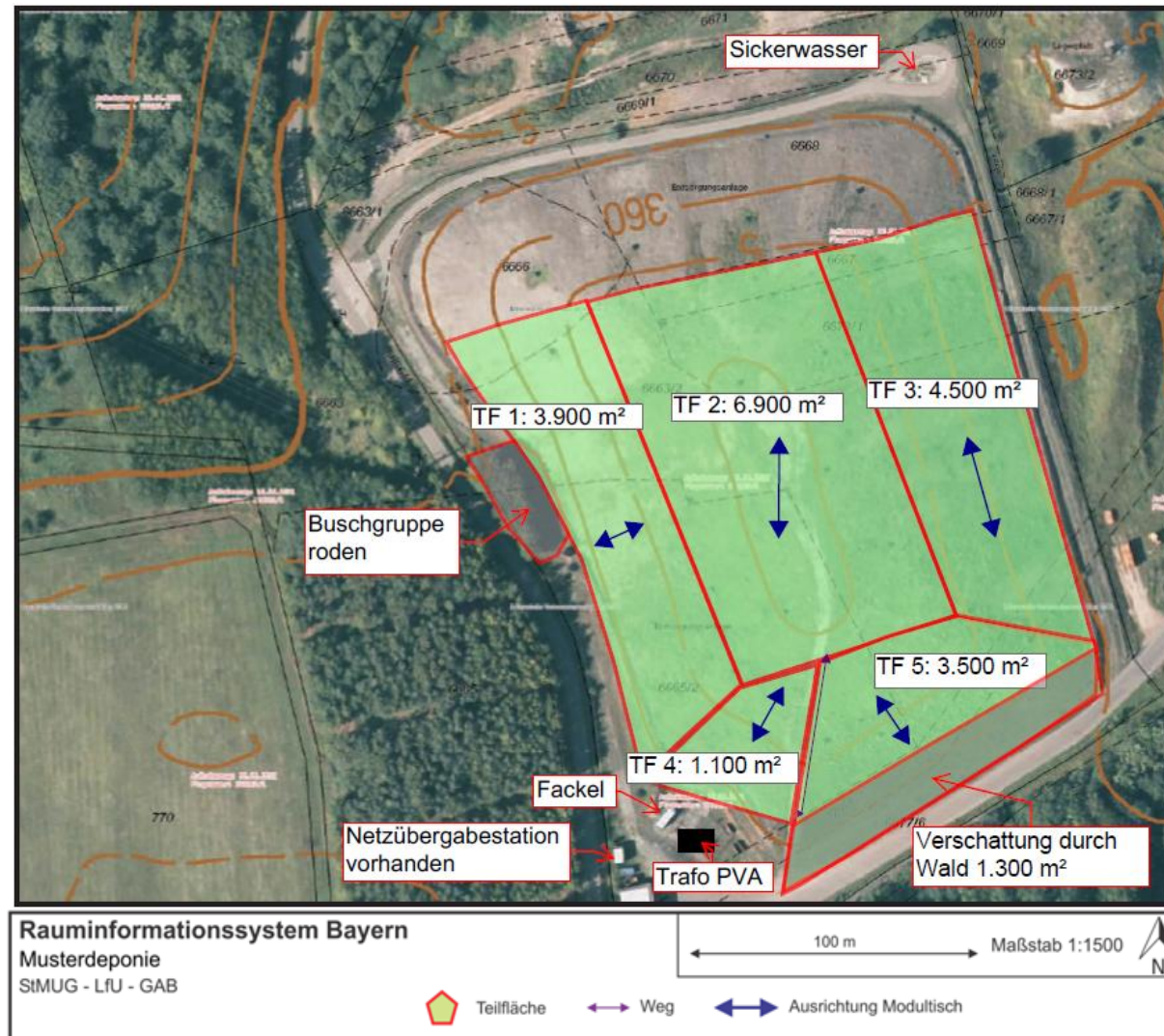


Abb. 9: Musterdeponie mit für PVA nutzbaren Flächen und anderen Angaben

4.2 Verarbeitung der erfassten Flächendaten

Am Musterstandort konnten fünf Teilflächen identifiziert werden. Deren Daten wurden in Erfassungs- und Rechentabellen eingetragen. Zur Erläuterung der Methodik wird hier das Erfassungsblatt der Teilfläche TF 5 erläutert.

Tab. 3: Erfassungsblatt der Teilfläche TF 5

1	Deponie:	Musterdeponie
2	Süd-Ertrag am Standort	937 kWh/kWp*a
3	Teilflächennummer	5
Flächenerfassung		
4	Ausrichtung der Modultische (Azimut)	30 °
5	Bruttofläche (horizontal)	3.500 m ²
Abzug durch		
6	Wege (Länge eintragen)	45 m
7		360 m ²
8	Gasdome (Anzahl eintragen)	2 St
9		200 m ²
10	Sonstiges, z.B. Gebäude	0 m ²
11	Verschattung	1.300 m ²
12	Abzug für Randbereiche + Wartungsgänge	30 %
13	Nettofläche (horizontal)	1.148 m ²
Hangneigung		
14	Höhe (oben)	365 m
15	Höhe (unten)	360 m
16	Höhendifferenz	5 m
17	Distanz	15,5 m
18	Hangneigung	17,9 °
19	Tatsächliche Hangfläche	1.206 m ²
20	Teilflächenbewuchs (Roden)	Kat. 1: Erdböschung oder Grünland ohne störenden Bewuchs
Ertragsberechnung		
21	PV-Belegung der Nettofläche	82 %
22	verfügbare PV-Modulfläche	939 m ²
23	Installierbare Leistung	146 kWp
24	Wirkungsgrad der Ausrichtung	98 %
25	Absoluter Ertrag	133.656 kWh/a

Die Zeilen bedeuten:

- 1: Name der Deponie.
- 2: Jahresertrag in Kilowattstunden eines installierten kWp bei Südausrichtung.
- 3: Nummer der Teilfläche.
- 4: Abweichung der Modultischausrichtung von der Südausrichtung (Azimutwinkel). Es wird nicht nach Ost- und Westausrichtung unterschieden, da dies für den Ertrag keine Rolle spielt.
- 5: Erfasste Bruttofläche in der Aufsicht, d. h. in der Waagerechten.
- 6: Erfasste Weglänge.
- 7: Die Weglänge wird mit $8 \text{ m}^2/\text{lfdm}$ multipliziert und von der Bruttofläche abgezogen.
- 8: Anzahl der Gasdome auf der Teilfläche.
- 9: Die Anzahl Gasdome wird mit 100 m^2 je Dom multipliziert und von der verbliebenen Fläche abgezogen.
- 10/11: Erfassung und Abzug von Verschattung durch z. B. Gebäude und Wald, diese wird in der Skizze bereits abgegrenzt.
- 12: Pauschaler Abzug von 30 % von der verbliebenen Fläche zur Berücksichtigung von Wartungsgängen, Setzungspegeln, aus geometrischen Gründen nicht bebaubaren Randbereichen usw.
- 13: Verbleibende horizontale Nettofläche.
- 14-18: Aus den Höhenlinien und deren Distanzen wird die Hangneigung in Grad berechnet. Bei einem negativen Wert ist die Fläche nach Norden geneigt.
- 19: Hier ist die tatsächliche Hangfläche in der Neigung angegeben.
- 20: Unterscheidung des Bewuchses der Teilflächen nach 3 Kategorien.
 - Kat. 1: Erdböschung oder Grünland ohne störenden Bewuchs
 - Kat. 2: Buschwerk, Sträucher, einzelne Bäume
 - Kat. 3: Vorwald (Alter bis ca. 20 Jahre)
- 21: Prozentuale Belegung der Nettoflächen mit PVA. Annahme hierbei ist, dass die Module mit 25 Grad Neigung zur Waagerechten aufgestellt werden. Zwischen den Modulen bzw. Tischen muss ein Abstand eingehalten werden, so dass keine Verschattung von Modulen durch benachbarte Module eintritt. Je steiler die Böschung ist, umso enger kann die Fläche

belegt werden, d. h. umso höher ist der Prozentsatz der Flächenbelegung. Die Flächenbelegung ist unabhängig von der Größe der Module oder ihrer Anordnung auf Modultischen.

Zusätzlich geht in die Berechnung der Belegungsdichte der Verschattungswinkel ein. Dies ist der Winkel des höchsten Sonnenstandes am 21. Dezember eines Jahres um 12 Uhr am jeweiligen Standort. Je südlicher ein Standort gelegen ist, desto größer ist der Verschattungswinkel und umso enger kann eine Fläche belegt werden.

Zur Illustration soll folgende Abbildung dienen:

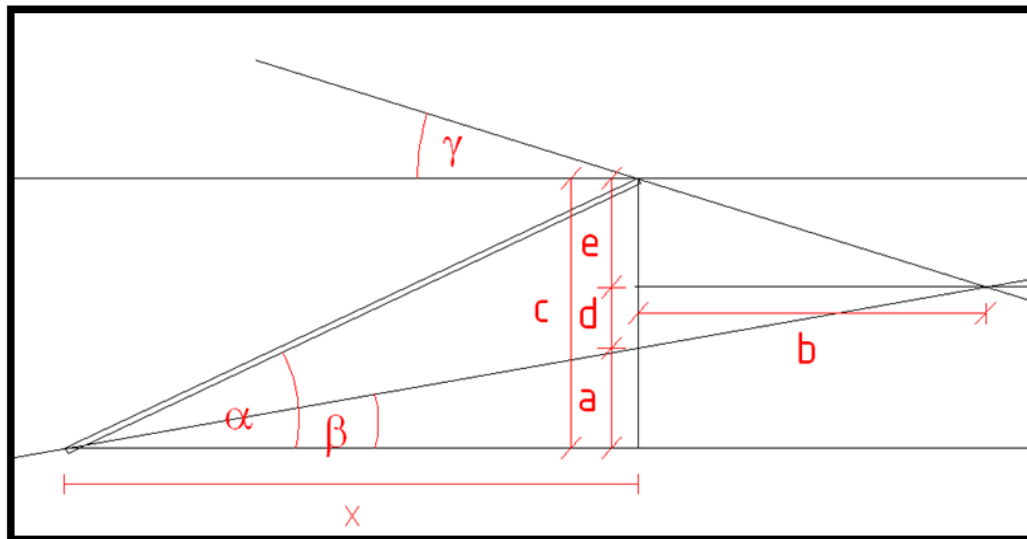


Abb. 10: Berechnung der Tischabstände

Erläuterung der Parameter:

- α : Neigungswinkel des Moduls (25 Grad)
- β : Neigungswinkel des Hangs
- γ : Verschattungswinkel am Standort
- x: Tischtiefe in der Aufsicht
- b: Mindestabstand zwischen den Tischen
- a, c, d, e: Hilfsgrößen zur Berechnung

Die Berechnungen der trigonometrischen Funktionen erfolgen innerhalb der Tabelle.

22: Reine Modulfläche in der Draufsicht

- 23: Installierbare Leistung auf der Fläche. Umrechnungsfaktor: 1 kWp benötigt eine Fläche von 6,42 m² in der Draufsicht.
- 24: Bei von der Südrichtung abweichender Ausrichtung der Module reduziert sich der Wirkungsgrad. Hierzu wurden aus dem System PVGIS für einen Standort spezifische Daten bei verschiedenen Ausrichtungen ermittelt und in einer Punkteschar dargestellt.

Die Werte lassen sich mit der Parabelgleichung

$$y = 0,0016x^2 - 0,0345x + 100$$

interpolieren. Diese Formel wurde zur rechnerischen Ertragsermittlung der unterschiedlich ausgerichteten Modultische in den Teilflächen verwendet.

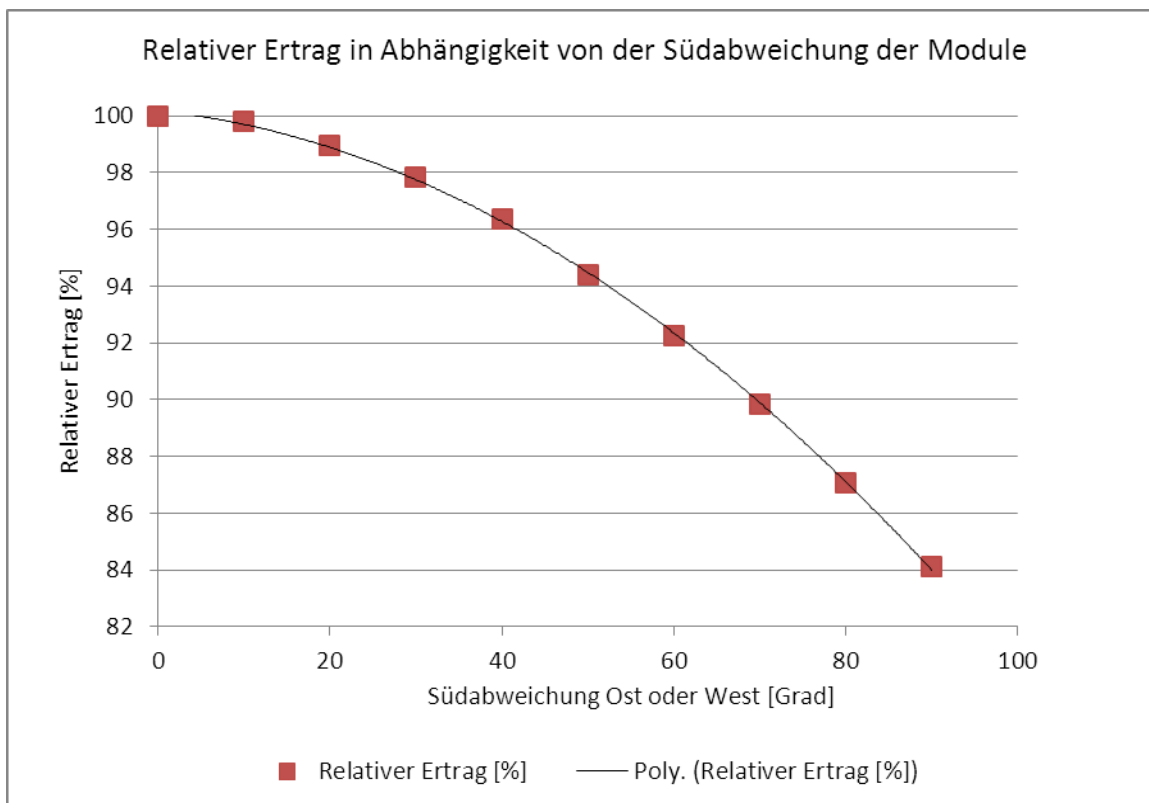


Abb. 11: Relativer Ertrag in Abhängigkeit von der Südabweichung der Module

- 25: Ermittelter absoluter Ertrag in Kilowattstunden pro Jahr auf der Teilfläche.

4.3 Globalstrahlung, spezifischer Ertrag und Verschattungswinkel aller Standorte

Tabelle 4 gibt unter jeweils definierten Bedingungen die Globalstrahlung, den spezifischen Stromertrag und den Verschattungswinkel für die Gesamtheit aller untersuchten Standorte wieder. Weitere Details finden sich in der auf die Tabelle folgenden Erläuterung zu den Tabellenspalten.

Tab. 4: Standortdaten

Nr.	Globalstrahlung (PVGIS) [kWh/m ² *a] ¹⁾	spezifischer Stromertrag [kWh/kWp*a] ²⁾	Verschattungswinkel [Grad] ³⁾
1	1.200	1.050	18,5
2	1.030	877	16,4
3	1.110	965	18,1
4	1.020	877	16,2
5	1.150	1.010	18,5
6	1.070	926	17,2
7	1.110	964	18,1
8	1.110	986	18,1
9	1.070	918	16,9
10	1.050	902	16,6
11	1.090	949	18,0
12	1.110	953	18,2
13	1.110	966	18,1
14	1.120	980	18,3
15	1.070	926	17,4
16	1.110	958	18,0
17	1.040	895	16,5
18	1.020	876	16,2
19	1.080	935	17,7
20	1.070	931	16,6
21	1.040	907	16,3
22	1.060	925	16,5
23	1.030	890	16,4
24	1.200	1.050	18,6
25	1.140	996	18,5
26	1.040	893	16,8
27	1.140	992	18,6
28	1.020	881	16,2
29	1.070	926	17,2
30	1.020	873	16,0
31	1.070	934	17,1
32	1.040	890	16,4
33	1.200	1.050	18,6
34	1.040	891	16,4

Nr.	Globalstrahlung (PVGIS) [kWh/m ² *a] ¹⁾	spezifischer Stromertrag [kWh/kWp*a] ²⁾	Verschattungswinkel [Grad] ³⁾
35	1.060	913	17,2
36	1.020	886	16,2
37	1.120	980	18,3
38	1.050	904	16,7
39	1.060	909	16,9
40	1.040	916	16,4

Erläuterung der Tabellenspalten:

- 1): Globalstrahlung horizontal am Standort in Kilowattstunden pro m² und Jahr.
- 2): Spezifischer Stromertrag in Kilowattstunden pro installiertem Kilowatt peak bei 25 Grad Modulneigung und Südausrichtung.
- 3): Höchster Sonnenstand am 21. Dezember eines Jahres am Standort. Anhand dieses Winkels werden Abstände der Modultische zueinander berechnet (siehe Kapitel 2.2).

4.4 Ergebnisse der Flächenerfassung

Im Ergebnis ergaben sich für den Musterstandort die in Tab. 5 dargestellten Ergebnisse der Flächenerfassung. Den Berechnungen sind Flächen- und Prozentansätze auf mehrere Kommastellen genau hinterlegt. In den Übersichtstabellen sind die Ergebnisse gerundet.

Tab. 5: Ergebnisse der Flächenerfassung

Deponie	Musterdeponie				
Ergebnisse der Flächenerfassung					
Teilfläche	Bruttofläche horizontal [m ²]	Nettofläche horizontal [m ²]	Hangneigung [Grad]	PV Belegung der Nettofläche [%]	verfügbare PV-Modulfläche [m ²]
1	3.900	2.450	19,7	86	2.111
2	6.900	4.340	-3,8	32	1.409
3	4.500	2.870	0,0	41	1.174
4	1.100	770	16,4	78	602
5	3.500	1.148	17,9	82	939
Gesamt	19.900	11.578			6.235
A	B	C	D	E	F

Erläuterung der Tabellenspalten:

- A: Nummerierung der Teilflächen. Die mit PVA bebaubaren Deponieflächen wurden bei der Musterdeponie mit fünf Einzelflächen mit unterschiedlicher Neigung bzw. unterschiedlicher Ausrichtung der Modultische unterteilt. Die Methodik lässt eine Unterscheidung in maximal sechs Teilflächen zu.
- B: Bruttoflächen der Teilflächen in der Draufsicht.
- C: Nettoflächen der Teilflächen. Hier wurden von den Bruttoflächen abgezogen: Wege, Gasdome, Verschattungen, Verkehrsflächen (wie zuvor erläutert).
- D: Die Hangneigungen der einzelnen Flächen. Negative Hangneigung (im Bsp. Teilfläche TF 2) bedeutet Neigung der Fläche nach Norden.
- E: Prozentuale Belegung der Nettoflächen. Annahme hierbei ist, dass die Module mit 25 Grad Neigung zur Waagerechten aufgestellt werden. Zwischen den Modulen bzw. Tischen muss ein Abstand eingehalten werden, sodass keine Verschattung von Modulen eintritt. Je steiler die Böschung ist, umso enger kann die Fläche belegt werden, d. h. umso höher ist der Prozentsatz der Flächenbelegung.
- F: Dies ist die resultierende Fläche, die quasi vollflächig mit Modulen belegt werden kann. Auch diese Angabe versteht sich in der Draufsicht, d. h. die wahre Modulfläche ist wegen der Aufständigung mit 25 Grad größer.

4.5 Anlagenleistung und Stromertrag

Mit Hilfe des Berechnungstools wurde die installierbare Leistung auf jeder Teilfläche berechnet. Diese ergibt sich aus dem Verhältnis der verfügbaren PV-Modulfläche zur je kWp erforderlichen Modulfläche. Da alle Flächen in der Horizontalen betrachtet werden und die Module 25° zur Horizontalen geneigt sind, wird in Abweichung von dem in Tabelle 2 angegebenen Wert von 7,1 m² Modulfläche je kWp mit einer horizontal benötigten Fläche von 6,42 m²/kWp gerechnet.

Anmerkung: Die installierbare Leistung ist unabhängig von der Modul- oder der Tischgröße. Tische mit mehreren Modulen übereinander bedingen zur Vermeidung von Verschattungen größere Abstände der Tische zueinander. Die Belegungsichte ist abhängig von der Hangneigung (je steiler, desto dichter), der Modulneigung zur Waagerechten und dem so genannten Verschattungswinkel (beim höchsten Sonnenstand am 21. Dezember am Deponiestandort).

Als Ergebnis der Berechnung ergeben sich die bereits in Kap. 4.4 dargelegten rechnerischen Belegungen der Teilflächen mit PV-Modulen bzw. Tischen (verfügbare PV-Modulfläche) sowie eine installierbare Teilflächen- und Gesamtleistung in kWp.

Zur Ermittlung des Jahresstromertrags wurde unter Berücksichtigung der standortspezifischen jährlichen Globalstrahlungsdaten¹, einer Modulneigung von 25 Grad zur Waagerechten und der festgelegten Modultischausrichtung (Azimutwinkel = Abweichung zur reinen Südausrichtung in Grad) schließlich der Jahresertrag in Megawattstunden (MWh/a) berechnet.

Tab. 6: Leistung sowie spezifischer und absoluter Ertrag

Deponie Süd-Ertrag am Standort ¹⁾	Musterdeponie				
	937 kWh/kWp*a				
Ergebnisse					
Teilfläche	verfügbare PV-Modulfläche [m ²]	installierbare Leistung [kWp]	Ausrichtung Azimutwinkel [Grad]	spezifischer Ertrag [kWh/kWp*a]	absoluter Ertrag [MWh/a]
1	2.111	329	60	864	284
2	1.409	220	0	937	206
3	1.174	183	15	929	170
4	602	94	30	914	86
5	939	146	30	914	134
Gesamt	6.235	972		905	880
1): Wert aus System PVGIS der europäischen Kommission				gewichteter durchschnittl. spez. Ertrag der Teilflächen	
	A	B	C	D	E

Die Tabellenspalten bedeuten:

- A: Übernahme der Spalte F aus Tabelle 5
- B: Installierbare Teilleistung aus den Teilflächenerfassungen: 6,42 m² verfügbare PV-Modulfläche (horizontale Draufsicht) je kWp
- C: Die Abweichung von der Südausrichtung (Azimut) der Modultische auf den Teilflächen.
- D: Spezifischer Ertrag der Teilfläche aufgrund der Ausrichtung zum Azimut. In der Zeile „Gesamt“ ist der mengengewichtete Durchschnittsertrag der Anlage berechnet.
- E: Absoluter Ertrag der Anlage in Megawattstunden pro Jahr.

¹ Umrechnungsfaktor 6,42 m² Modulfläche / kWp wurden mit dem Simulationsprogramm PV*Sol 5.0 und tatsächlichen Erträgen der vergangenen 7 Jahre im Raum Stuttgart verglichen. Aufgrund ihrer geringen Abweichung von im Mittel nur 1,4% wurden grundsätzlich die Solarerträge aus PVGIS verwendet.

5 METHODIK ZUR BEWERTUNG DER EINBINDUNG IN DAS LANDSCHAFTSBILD UND DES ÖKOLOGISCHEN AUSGLEICHS

5.1 Gesetzliche Grundlagen

Folgende Gesetze bilden, jeweils in ihrer aktuellen Fassung, die gesetzliche Grundlage der Studie:

- Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG,
- Bayerisches Naturschutzgesetz (BayNatSchG)
- Baugesetzbuch (BauGB)
- Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)

5.2 Aufgabenstellung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudien sind insbesondere zu erörtern:

- Erfassung des Zustandes der Schutzgüter im Wirkungsbereich der geplanten Baumaßnahme sowie Bewertung dieser Güter hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit
- Ermittlung der Wirkungen des Bauvorhabens als Konfliktanalyse
- Hieraus Feststellung und Bewertung der Beeinträchtigungen der Schutzgüter
- Prognose über Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen

Hinweise:

- Maßnahmen, die dazu geeignet sind Beeinträchtigungen zu vermeiden oder Wirkungen des Eingriffs zu minimieren, wurden für die einzelnen Vorhaben je Standort gleichwertig angenommen und der Studie unterstellt
- Die abzuarbeitenden Schutzgüter werden aufgrund ihrer Ausführlichkeit dem UVPG entnommen. Diese stellen sich gemäß § 2 Abs. 1 Satz 2 UVPG wie folgt dar:
 1. Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit
 2. Flora, Fauna
 3. Boden
 4. Wasser (Grund-/ Oberflächenwasser)
 5. Klima, Lokalklima
 6. Landschaft
 7. Kulturgüter und sonstige Sachgüter
 8. Wechselwirkung zwischen den vorgenannten Schutzgütern

5.3 Rechtliche Grundlagen und Planungsunterlagen

Die rechtliche Grundlage für die Erstellung der Machbarkeitsstudien liefert das BNatSchG, dessen § 1 die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege wie folgt definiert:

(1) Natur und Landschaft sind auf Grund ihres eigenen Wertes und als Grundlage für Leben und Gesundheit des Menschen auch in Verantwortung für die künftigen Generationen im besiedelten und unbesiedelten Bereich nach Maßgabe der nachfolgenden Absätze so zu schützen, dass

1. die biologische Vielfalt,
2. die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts einschließlich der Regenerationsfähigkeit und nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter sowie
3. die Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie der Erholungswert von Natur und Landschaft auf Dauer gesichert sind; der Schutz umfasst auch die Pflege, die Entwicklung und, soweit erforderlich, die Wiederherstellung von Natur und Landschaft (allgemeiner Grundsatz).

In § 15 des BNatSchG wird zudem auf die Verursacherpflichten und der Unzulässigkeit von Eingriffen eingegangen.

Das BNatSchG stellt seit seiner Neufassung vom 29.07.2009 in der Fassung vom 06.12.2011 unmittelbar geltendes Recht dar. Bis zu diesem Zeitpunkt galt es lediglich als Rahmengesetz.

Jedoch ist es den Ländern vorbehalten, Bestimmungen, zu denen keine bundesrechtliche Regelung besteht oder für die der Bund den Ländern eine Regelungskompetenz zuweist, zu detaillieren.

Im Freistaat Bayern erfolgte diese detaillierte Gesetzesauslegung in Form des Gesetzes zum Schutz der Natur, zur Pflege der Landschaft und über die Erholungsvorsorge in der freien Landschaft (BayNatSchG). Zusätzlich gibt es Hinweise des Bay. Staatsministeriums des Inneren, OBB, vom 19.11.2009 und ergänzend vom 14.01.2011 [6].

Hinweis:

Das UVPG formuliert keine Verbindlichkeit zur Erstellung von Umweltverträglichkeitsprüfungen für die Errichtung von PVA. Somit besteht für die vorliegende Studie keine Verpflichtung, die potenziellen Vorhaben auf dieser Ebene abzuarbeiten.

5.4 Ziele des Umweltschutzes und Angaben zu deren Berücksichtigung

5.4.1 Internationale und gemeinschaftliche Ziele

Natura 2000:

Die Vorgaben oder Bindungen wurden je Planungsraum erhoben und entsprechend dargestellt. In der Regel befinden sich Vorhabensgebiete nicht im Wirkungsbereich eines FFH-Gebietes oder eines SPAs (Special Protection Area).

5.4.2 Ziele von Bund und Ländern

Naturschutz-/ Landschaftsschutzgebiet

Entsprechende Schutzkategorien wurden für die einzelnen Planungsgebiete und/ oder für die angrenzenden Landschaftsräume erhoben und entsprechend in der Studie berücksichtigt.

Gesetzlich geschützte Biotope

Für die Vorhabensgebiete wurden die nach § 32 BNatSchG ausgewiesenen ‚Besonders geschütztes Biotop bzw. Waldbiotop‘ erhoben und in der Studie berücksichtigt.

Ziele der Regionalplanung

Die Aussagen der Regionalpläne für die einzelnen Standorte bzw. Planungsräume wurden, soweit vorhanden, erfasst und in die Studie einbezogen.

5.4.3 Ziele der Landschaftsplanung

Übergeordnete Bindungen oder Vorgaben wurden für die einzelnen Planungsgebiete erhoben und in der Studie vermerkt. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang, ob detaillierte Rekultivierungsaussagen im Zuge der seinerzeitigen Genehmigungsverfahren festgeschrieben wurden.

5.5 Bestandsaufnahme und Bewertung der Schutzgüter und Landschaftsfaktoren

Bei der Ermittlung der landschaftsplanerischen Belange wird keine Unterscheidung zwischen den Deponietypen (Hausmülldeponien, Restabfalldeponien, Monodeponien) getroffen. Hintergrund ist, dass für die Machbarkeitsstudie die jeweils realisierte Rekultivierung der Oberfläche erhoben wurde. Für die Beurteilung der landschaftsplanerischen Belange bezüglich einer geplanten PVA ist es unerheblich, welcher Deponietyp je Standort vorliegt.

5.5.1 Allgemeine und besondere Bedeutung von Wert- und Funktionsräumen der einzelnen Schutzgüter

5.5.1.1 Schutzgut Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit

Die vorliegende Studie bezieht sich auf die landschaftsbezogene Erholungsfunktion bzw. –vorsorge der jeweils angesprochenen Deponiefläche und der hierauf vorgesehenen PVA und der Umgebung des jeweiligen Vorhabengebietes. Da die Deponien dieser Studie i. d. R. nicht mehr in Betrieb sind, werden Betrachtungen über die Funktion der Deponie etc. als Arbeitsplatz oder die Untersuchung von Schadstoffen hier nicht erhoben und folglich in der Studie nicht abgehandelt.

5.5.1.2 Schutzgut Arten und Biotope

Mit vorliegender Studie wurden die vorhanden Daten und Erkenntnisse aus artenschutzrechtlichen Vorgaben und/ oder Aussagen sowie Beobachtungen zu den einzelnen Standorten erhoben. Es erfolgte eine Prüfung ihrer Relevanz für die potenziellen Bauvorhaben mit einer PVA.

Flora

Im Zuge der Rekultivierung oder der natürlichen Sukzession können sich schützenswerte Biotypen entwickeln, die im Einzelfall selbst und/ oder als Habitat für schützenswerte Tierarten, von Bedeutung sind. Die Angaben zu den angetroffenen Biotopen, Vorwaldstufen oder Waldgründungen sind in den einzelnen Bewertungen berücksichtigt.

5.5.1.3 Schutzgut Boden

In vorliegenden Untersuchungsfällen handelt es sich um künstliche Standorte. Deponien weisen keinen natürlichen Aufbau für den Boden oder den Oberboden auf. Dies betrifft auch das Bodengefüge. Die Rekultivierungsschichten weisen zwar Mächtigkeiten von bis zu 2,0 m auf, ihr Bodenmaterial stammt jedoch meist aus verschiedenen Regionen oder Gebieten. So ergeben sich künstlich geschüttete und verdichtete Bodenpakete, die mit dem originären Bodenstandort nicht identisch sind. Folglich kann der Eingriff durch eine PVA in geringerem Umfang angesetzt werden als dies bei einem natürlichen Standort der Fall wäre.

Von erheblicher Bedeutung für das Schutzgut Boden ist der Grad der Versiegelung von Rekultivierungsboden, der durch die PVA entsteht. Das Oberflächenwasser, das nicht in die Rekultivierungsschicht einsickert, gelangt zwar in der Regel über einen Vorfluter in das Grundwasser. Jedoch geht der versiegelte Deponieboden als Standort für Flora und Fauna verloren. Hier ist entscheidend, ob der künstlich aufgebaute Untergrund eine hohe Stabilität aufweist oder sehr instabil ist.

Je stabiler das Bodenpaket in seiner Konsistenz und je mächtiger die Schicht ist, desto eher können die Solarmodule mit Rammfundamenten oder einer Bohrpfahlgründung fundamementiert werden. Diese Ramm- oder Drehfundamente gewährleisten eine ausreichende Standfestigkeit gegen Absenkungen oder Windlasten im Laufe der Standzeit. Diese Form der Fundamentierung führt zu einem sehr geringen Versiegelungsgrad durch die PVA.

Weist der Standort jedoch nicht ausreichend mächtige, tragfähige oder stabile Bodentypen auf, so sind Plattenfundamente für die Standfestigkeit der Solarmodule erforderlich und einzusetzen. Diese Fundamentplatten ergeben in ihrer Summe einen weit höheren Versiegelungsgrad.

Tab. 7: Bestandsbewertung Schutzgut Boden

Bestandsbewertung Schutzgut Boden				
	Bodenfunktion			
Wertigkeit	natürliche Bodenfruchtbarkeit/Standort für Kulturpflanzen	Ausgleichskörper im Wasserkreislauf	Filter und Puffer für Schadstoffe	Standort für die natürliche Vegetation
Böden ohne natürliche Bodenfunktion	X	X	X	X
gering bis mäßig				
Mittel				
Hoch				
sehr hoch				

Tab. 8: Empfindlichkeit Schutzgut Boden

Empfindlichkeit des Schutzgut Bodens:			
Empfindlichkeit	Erosion	Verdichtung	Teil-/ Versiegelung
Gering	X	X	X
Gering bis mittel			
Mittel			
Hoch			
sehr hoch			

5.5.1.4 Schutzgut Wasser

Grundwasser:

Die hier betrachteten abfallrechtlich genehmigten Deponien sind künstliche Standorte in der Landschaft und so auch in der Grundwasserlandschaft. Sie sind i. d. Regel weitgehend oder vollständig vom Grundwasser entkoppelt. Durch die Oberflächenabdichtungen wird eine Sickerwasserneubildung durch eindringendes Niederschlagswasser unterbunden. Basisabdichtungen verhindern, dass bereits vorhandenes Sickerwasser in den Grundwasserkörper gelangt. Es erfolgt maximal eine anteilige Versickerung im Randbereich der Deponie. Die Randgräben der Deponie führen in aller Regel das Regenwasser einem Vorfluter als Oberflächenwasser zu. Folglich ergeben sich keine zu untersuchenden bzw. relevanten Aspekte für das Schutzgut Grundwasser.

Oberflächenwasser

Im Bereich der Deponien befinden sich i. d. R. keine natürlichen Oberflächengewässer wie Flüsse, Bäche, Rinnsale, Seen oder Quellen. In einigen Fällen sind jedoch Gewässer in unmittelbarer Nähe von den untersuchten Deponien vorhanden.

5.5.1.5 Klima

Jeder Deponiekörper stellt eine künstlich hergestellte Veränderung in der Oberfläche der Landschaft, d. h. in ihrer Orografie bzw. ihrem Relief, dar. Dies kann die Auffüllung einer Klinge bzw. eines Tales oder eine Aufschüttung in ebener bzw. sanft modulierter Landschaft oder die zusätzliche Überschüttung einer Anhöhe sein. Die sich aus diesen Veränderungen der Landschaftsoberfläche ergebenden Beeinflussungen für das Lokalklima werden durch PVA nicht signifikant verändert. Dies kann durch mehrere Punkte belegt werden:

Die Reliefierung des Deponiekörpers wird durch PVAs nicht grundsätzlich verändert.

Ferner ergaben Untersuchungen [8], dass PVA sich nicht, wie man annehmen könnte, durch die Stromproduktion stark erhitzen. Die Sonneneinstrahlung wird weitgehend absorbiert und in Energie umgewandelt. Die Temperatur auf den Paneelen beträgt zwischen 50 und 60°C. Unter den Modulen ergeben sich kühlere Temperaturen, da die Deponieoberfläche von den Solarpanelen verschattet wird. Diese Verschattung führt zu einem ausgeglichenen Temperaturverlauf der mit Solarmodulen überstellten Deponieoberfläche. Die Kalt- und Frischluftproduktion bleibt für die in der Regel vorgesehene Wiesenfläche nahezu unverändert. Zum einen fällt bei Einbruch der Nacht die Temperatur der Wiesenoberfläche sehr rasch ab und zum anderen können Kaltluftströme ungehindert abfließen, da die Aufständungen der Solarpaneele keine Hindernisse darstellen. Die mittels Schafbeweidung oder Mahd kurz gehaltenen Wiesenflächen unter den Modultischen stellen eine

geringere Oberflächenrauigkeit dar als hoch gewachsene Ruderalfluren oder verbuschte Gebiete oder Vorwaldstrukturen.

Eignung und Empfindlichkeit Schutzgut Klima/ Luft

Die Eignung und die Empfindlichkeit von Deponieflächen kann mit folgender Bewertungsmethodik verdeutlicht werden, da in der Regel zur Darstellung von klimaökologischen Strömungssystemen für die Bearbeitungsgebiete wissenschaftliche Datengrundlagen fehlen. Herangezogen werden als Bewertungskriterien insbesondere

- die Hangneigung sowie
- vorhandene Nutzungs- bzw. Vegetationsstrukturen

und in einer einfachen Matrix miteinander verbunden (s. nachfolgende Tabelle 9). Die gängigen Neigungsklassen (0 - 5) sind dafür in drei Stufen zusammengefasst. Parallel dazu sind auch die zahlreichen Nutzungsformen drei Hauptnutzungen zugeordnet (s. Bewertungsgrundlagen). Insgesamt ergeben sich in der Kombinationsmatrix 6 Klassen an Kaltluftproduktionsraten.

Tab. 9: Kaltluftproduktionsraten

Kaltluftproduktionsrate in Abhängigkeit der Hangneigung		Kaltluftproduktionsraten in Abhängigkeit der Nutzung		
		Siedlung	Freiflächen	Wald, Streuobst
		gering	mittel	hoch
0° - 1°, eben, flach	gering	1	2	3
2° - 10°, mittel geneigt	mittel	2	4	5
10 – 30°, stark geneigt, steil	hoch	3	5	6

5.5.1.6 Landschaftsbild/ Erholung

Das Landschaftsbild ist die äußere, sinnlich wahrnehmbare Wesenserscheinung sowie die Gestalt von Natur und Landschaft. Das Landschaftsbild wird vom jeweiligen Betrachter und seinen subjektiven Bedürfnissen wahrgenommen und gewertet.

Landschaft ist hier als Seelenraum für die sensitive Betrachtung und Empfindung sowie als Ort der Identität und Heimat zu sehen. Sie gibt Zeugnis der menschlichen und seelischen Entwicklung im angesprochenen Untersuchungsraum.

Die Elemente des Landschaftsbildes sind Relief, Vegetation, Wasser, sowie Nutzungs-, Bau- und Erschließungsstruktur, die für die menschlichen Bedürfnisse nach Schönheit, Heimat und Erholung Bedeutung erlangen.

Die Analyse des Landschaftsbildes setzt eine Betrachtung nach ästhetischen Gesichtspunkten voraus. Zum anderen ist die Schutzwürdigkeit des Landschaftsbildes als Gesellschaftsanspruch in übergeordneter Betrachtungsweise zu erheben.

Die vorgenannte Betrachtungsweise der Landschaft und ihrer Erscheinung wurde für die einzelnen zu untersuchenden Standorte erhoben. Sie fließt in die Gesamtbeurteilung der jeweiligen Studie mit ein.

5.5.1.7 Kulturlandschaft

Mit der Einrichtung einer Deponie sind die am Standort befindlichen Bodendenkmäler bereits überschüttet und somit aktuell nicht zugänglich. Sie sind für eine weitere Zeit ‚konserviert‘. In der direkten Aufstellungsfläche der PVA sind folglich keine Kulturgüter oder Bodendenkmale anzunehmen.

Deponien, die sich weitgehend harmonisch in die Kulturlandschaft einbetten, stellen keine störenden Landschaftselemente dar. Auf einer solch integrierten Deponie kann eine PVA die Kulturlandschaft visuell negativ beeinträchtigen, obwohl sie auf einem künstlichen Standort zu stehen kommt. Diese standortabhängigen Vorgaben werden je Planungsfall geprüft und gehen mit in die Beurteilung ein.

5.5.1.8 Wechselwirkung zwischen den Beeinträchtigungen der Schutzgüter

Es können vereinzelt Wechselwirkungen zwischen den Schutzgütern Landschaft/ Erholung und Mensch auftreten, wenn die Erholungswirkung der Landschaft beeinträchtigt wird. Erholung ist ein Teil der Gesundheitsvorsorge; aus diesem Grund sind Landschaft und Mensch eng miteinander verbunden.

5.6 Konfliktanalyse

5.6.1 Prognose der Umweltauswirkungen bei Herstellung von PVA

Vorbemerkung

Die Grundlage der Konfliktanalyse bilden die vom Ingenieurbüro Klinger und Partner, Stuttgart, und dem Ingenieurbüro EGS-plan, Stuttgart, erhobenen Informationen und die Angaben für die Errichtung einer PVA auf den jeweiligen Deponiestandorten sowie die eigenen Untersuchungen.

5.6.1.1 Wirkfaktoren der Planung

Nach der Entstehung werden:

- „Baubedingte Beeinträchtigungen“, die sich aus den Arbeiten in der Bauphase ergeben,
- „Anlagebedingte Beeinträchtigungen“, die im Unterschied zwischen dem Zustand der Landschaft bzw. der einzelnen Schutzgüter vor und nach dem Bau der Objekte deutlich werden, sowie
- „Betriebsbedingte Beeinträchtigungen“, die durch Betrieb und Unterhalt nach Fertigstellung der Anlagen entstehen,

differenziert.

5.6.1.2 Baubedingte Wirkungen

Zu den „Baubedingten Beeinträchtigungen“ zählen insbesondere:

Wege zur Baustellenerschließung, Beeinträchtigung oder Entfernung vorhandener Vegetation incl. Oberboden, Erdaushub und Baustelleneinrichtungen, Ablageplätze für Baustoffe, Bodenverdichtung, Bodenumschichtung durch Fundamentbau und Kabeltrassenaushub etc., Akkumulation von Schadstoffen, Lärm und Abgase.

Die erforderlichen Erd- und Bodenarbeiten für die Errichtung der PVA beschränken sich auf das Einbringen der punktförmigen Dreh- bzw. Rammfundamente sowie die Herstellung von Plattenfundamenten für die Modultische sowie auf die Verlegung der Elektrokabel von den Modultischen zu den Trafostationen und von hier zur Übergabestation.

In beiden letztgenannten Fällen handelt es sich nur um einen kurzfristigen Grabenaushub mit anschließender Verfüllung der Gräben mit dem ausgehobenen Erdmaterial sowie einer anschließenden Rekultivierung des Oberbodens, d. h. in vorliegendem Fall die (Wieder-) Ansaat mit Gräsern zur Wiederherstellung des Grünlandes im Trassenbereich der Gräben.

Durch die Bautätigkeiten oder die Herstellung der PVA sind keine Bodenumlagerungen erforderlich.

Es erfolgen auch keine Bodenverdichtungen, da bereits während der Nutzungszeit als Deponie ein flächendeckender und standfester Unterbau in einer Stärke von bis zu 2,0 m aus Boden und Oberboden eingebaut wurde. Daher verursacht der Aufbau der PVA keine signifikanten Bodenveränderungen.

Im Zuge der Bautätigkeiten können sich vorübergehend Beeinträchtigungen für den benachbarten Erholungsraum, d. h. für die Naherholung, ergeben.

Folgende Tabelle verdeutlicht die einzelnen Parameter:

Tab. 10: Baubedingte Wirkungen

Baubedingte Wirkungen	Beeinträchtigungen				
	Ver- besser- ung	wahr- schein- lich keine	gering	mittel	hoch
Oberbodenentfernung			x		
Bodenverdichtung		x			
Versiegelung			x		
Bodenumlagerung und –durchmischung			x		
Entnahmestellen, Ab-/ Aufgrabungen		x			
Lager, Deponien, Aufschüttungen		x			
Dammbauten, Überbrückung		x			
Staub- u. Lärmentwicklung durch Baubetrieb		x			
Vegetationsentfernung (Baumschicht)		x			
Vegetationsentfernung (Krautschicht)			x		
Störung Bruttätigkeit			x		

5.6.1.3 Anlagebedingte Wirkungen

Zu den „Anlagebedingten Auswirkungen“ zählen vor allem die Effekte, die durch die Freiflächen-PVA selbst hervorgerufen werden. Aufzuführen sind hierbei insbesondere die Modultische mit ihren Dreh- bzw. Ramm- oder Plattenfundamenten sowie den dazugehörigen Kabeltrassen und die Wechselrichter-/ Verteilerstationen.

Von signifikanter Bedeutung können ferner die Ergebnisse aus Untersuchungen für besonders geschützte Tierarten sein, die gegebenenfalls zu berücksichtigen sind. Bei entsprechend gesicherten Erkenntnissen zu einem Standort fließen diese in die Bewertung der einzelnen Deponie- bzw. PVA-Fläche ein.

Darüber hinaus ist die Qualität des benachbarten Erholungsraumes und seiner Funktion als Naherholungsgebiet zu berücksichtigen und in die Standortbeurteilung aufzunehmen.

Hervorzuheben ist, dass die geplanten PVA jeweils ein Bauwerk auf Zeit sind. Ihre Laufzeit ist aktuell auf 20 Jahre angesetzt. Vor diesem Hintergrund ist der sogenannte ‚time lag‘ für die zu beurteilenden einzelnen Landschaftspotenziale zu berücksichtigen und entsprechend zu gewichten.

Anmerkungen:

Bezüglich der Spiegelungseffekte ist anzumerken, dass Reflexionen nur in Grenzfällen, bei tiefem Sonnenstand, möglich sind. Der Einfallswinkel muss dem Ausfallswinkel entsprechen, was nur für einen kurzen täglichen Zeitraum der Fall ist.

Weiter ist in der Literatur gelegentlich davon die Rede, dass Freiflächen-PVA Wasserflächen vor-täuschen und deshalb einen Anlockeffekt für Wasservögel erzielen. Diese These ist wissenschaftlich und fachlich nicht abschließend abgesichert [8].

Die Erwärmung der Modulober-/ unterflächen hat durch die Hinterlüftung und den Abstand zum Boden keine Auswirkungen auf Insekten etc.

Folgende Tabelle verdeutlicht die einzelnen Parameter:

Tab. 11: Anlagenbedingte Wirkungen

Anlagebedingte Wirkungen	Beeinträchtigungen				
	Ver- besser- ung	wahr- schein- lich keine	gering	mittel	hoch
Vegetationsentfernung (Baumschicht)			x		
Vegetationsentfernung (Krautschicht)		x			
Tier- und Artenschutz			x		
Bodenversiegelung		x			
Bodenverdichtung		x			
Bodenüberdeckung (-beschattung) durch die Module				x	
Austrocknung unter den Modulen			x		
Bodenerosion am Rand der Module		x			
Visuelle Wirkung – Zerschneidung von Sichtbezügen		x			
Visuelle Wirkung – Silhouetteneffekt			x		
Spiegelwirkung – Reflexionen			x		
Barrierewirkung durch Umzäunung			x		
Flächenentzug für die Landwirtschaft		x			

5.6.1.4 Betriebsbedingte Wirkungen

Die „Betriebsbedingten Auswirkungen“ ergeben sich aus dem Betrieb der zukünftigen PVA während der vorgesehenen Laufzeit von 20 Jahren.

Dazu zählen insbesondere mögliche Emissionen der Anlage sowie Wirkungen durch Wartung und Pflege der Anlage.

Wie jedoch im Kapitel 5.5.1.5 bereits näher ausgeführt, verursachen die geringen Emissionen der PVA keine relevanten Immissionen für Erholungssuchende im jeweiligen Umfeld der Planungsvorhaben.

Die Intensität der Beeinträchtigungen aus den einzelnen Emissionen können wie folgt beurteilt werden:

Tab. 12: Betriebsbedingte Wirkungen

Betriebsbedingte Wirkungen	Beeinträchtigungen				
	Verbesserung	wahrscheinlich keine	gering	mittel	hoch
Lagern von Gütern u. betriebsbedingten Abfällen		x			
Verkehr: Erzeugung, Umlenkung		x			
Nähr- und Schadstoffeintrag		x			
Einbringung fremder Arten (Neophyten, Neozoen)		x			
Emi-/ Immissionen: Lärm Geräusche der Wechselrichter und Transformatoren		x			
Emi-/ Immissionen: Stäube, Spurengase, Wasserdampf		x			
Emi-/ Immissionen: Abwässer, Abfall		x			
Emi-/ Immissionen: Wärmeabgabe			x		
Emi-/ Immissionen: Lichtquellen		x			
Elektrische und magnetische Felder			x		
Wartung, Reparaturen		x			
Pflege der Grünflächen			x		

5.6.1.5 Rückbau

Es besteht i. d. R. die Auflage zum vollständigen Rückbau der PVA nach dem Ende ihrer Laufzeit, d. h. in der Regel nach 20 Jahren. Alle technischen Elemente wie Modultische, Kabeltrassen, Fundamente, Trafostation und Zäune sind zu demontieren und fachgerecht zu entsorgen. Die Rekultivierungsschicht muss wieder voll ihre zuge dachte Funktion erfüllen.

Im Zuge dieser Rückbaumaßnahmen ist mit temporären Emissionen in Form von Lärm und Stäuben zu rechnen. Weiterhin werden die bis dahin entwickelten Biotopstrukturen durch die Rückbaumaßnahmen in Anspruch genommen. Langfristig findet jedoch eine Aufwertung statt, da nach den Rückbaumaßnahmen die gesamte Fläche als Biotopfläche wieder zur Verfügung steht.

5.6.1.6 Zusammenfassung Wirkfaktoren der Planung

Die Analyse der aufgeführten Projektwirkungen ergibt, dass bei der Realisierung der Bauvorhaben fünf Hauptbeeinträchtigungen für die Umwelt hervorgehen.

Dies sind im Einzelnen:

- die Bautätigkeit (eingeschränkt)
- der Flächenverlust
- die Versiegelung durch die Drehfundamente und/ oder Betonfundamente
- die Beeinträchtigung des Tier- und Artenschutzes (eingeschränkt)
- die Beeinträchtigung des Landschaftsbilds und der Erholung

Nachfolgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Analyse und das Beeinträchtigungspotenzial auf die einzelnen Schutzgüter zusammen:

Tab. 13: Zusammenfassung Wirkfaktoren Planung

Schutzgut	Bau-tätigkeit	Flächen-verlust	Versiege-lung	Emissionen	Visuelle Wirkung
Mensch	x	(x)		(x)	(x)
Flora/ Fauna	x	(x)	(x)		(x)
Boden		x	x		
Wasser			(x)		
Luft/ Klima				(x)	
Landschafts-bild		(x)			x
Kultur-/ Sach-güter		(x)	(x)		x
Wechsel-wirkungen					
x (voraussichtliche) wesentliche Beeinträchtigung					
(x) (voraussichtliche) unwesentliche Beeinträchtigung					

5.7 Ökologische Risikoeinschätzung und Konfliktermittlung

Die Ökologische Risikoeinschätzung ist vor dem Hintergrund der Laufzeit der PVA zu sehen. Die PVA ist in der Regel auf eine Laufzeit von ca. 20 Jahren ausgelegt.

5.7.1 Beeinträchtigung Menschen, menschliche Gesundheit

Die Auswirkungen der PVA auf den Menschen und die menschliche Gesundheit sind differenziert zu betrachten und müssen für die einzelnen zeitlichen Phasen der Anlage abgeschätzt werden.

Während der Bauphase sind Lärm, Gas, Stäube und Lichteinwirkungen als störende Momente zu nennen. Diesen Beeinträchtigungen kann jedoch direkt vor Ort zeitlich und räumlich ausgewichen werden.

5.7.2 Beeinträchtigung Schutzgut Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt

Mögliche Beeinträchtigungen durch die Errichtung einer PVA auf Flora und Fauna werden im Rahmen von separat erstellten ‚Artenschutzrechtlichen Prüfungen‘ erhoben. Innerhalb dieser Prüfungen werden mögliche Verbotstatbestände des Artenrechtes, z. B. das Töten geschützter Arten, durch fachkundige Ökologen oder Biologen erörtert. Im Falle eines solchen Verbotstatbestandes können entsprechende Maßnahmen vorgeschlagen werden, die wiederum in den Landschaftspflegerischen Begleitplan einfließen. Diese ‚Speziellen Artenschutzrechtlichen Prüfungen‘ sind im Zuge der genehmigungsrechtlichen Verfahren zu erstellen.

Fauna

Die Machbarkeitsstudien basieren auf den bereits vorliegenden Daten und Erkenntnissen für den Artenschutz. Spezielle Artenschutzrechtliche Prüfungen (SAP) wurden für die Beurteilung der einzelnen Standorte nicht durchgeführt. Bei Vorlage entsprechender Hinweise oder Kenntnisse zum Artenschutz eines Standorts wurden diese jedoch in die Bewertung einbezogen und dargestellt.

Flora

In den Untersuchungsgebieten wurden die Oberflächennutzungen und Vegetationsstrukturen aktuell erhoben und in den Bearbeitungsbögen entsprechend bewertet und eingearbeitet.

Der potenzielle Verlust von Vegetationsstrukturen im Zuge der Fundamentierung der PV-Elemente ist zu bilanzieren und durch geeignete Maßnahmen zu kompensieren. Betroffen sein können insbesondere Ruderalvegetationen oder Heckenstrukturen sowie Vorwälder oder bereits entstandene Waldflächen.

Durch Lichtmangel verursachte, dauerhaft vegetationsfreie Bereiche sind mittels Einfalls von Streulicht bei der gewählten Aufstellweise der Freiflächen-PVA auszuschließen [8].

Folgende Tabelle stellt die einzelnen Parameter dar:

Tab. 14: Beeinträchtigungen Schutzgut Flora, Fauna und Biologische Vielfalt

Betroffene Funktionen und Werte	Beeinträchtigungen				
	Ver- besse- rung	Wahr- scheinl. keine	gering	mittel	hoch
Tier- und Pflanzenwelt, Lebensgemeinschaften sowie biologische Vielfalt					
Pflanzenarten/ Flora: 1 (Moose, Flechten, Algen)		x			
Pflanzenarten/ Flora: 2 (höhere Pflanzen)		x			
Pflanzengesellschaften/ Vegetation: 1 (Wasser, Boden, Krautschicht)			x		
Pflanzengesellschaften/ Vegetation: 2 (Strauch- und Baumschicht)			x		
Tierarten: 1 (Wirbeltier- Artengruppen wie Vögel, Lurche, Reptilien...)		x			
Tierarten: 2 (Wirbellose Artengruppen wie Insekten, Gliedertiere...)			x		
Lebensräume und Biotopkomplexe (ökosystemare topograf. Einheiten):			x		

5.7.3 Beeinträchtigung Schutzgut Boden

Wie im Kapitel 5.5.1.3 ausgeführt, hängt der Grad der Versiegelung von der Standfestigkeit des Bodens und somit von der Art der Fundamentierung ab. Können Ramm- und Drehfundamente eingesetzt werden, ergibt sich nur eine sehr geringe Versiegelung. Beim Einsatz von Plattenfundamenten ergibt sich eine erhebliche höhere Versiegelung.

5.7.4 Beeinträchtigung Schutzgut Wasser

Die folgende Tabelle stellt die der Studie zu Grunde gelegten Beurteilungen dar:

Tab. 15: Beeinträchtigungen Schutzgut Wasser

Betroffene Funktionen und Werte	Beeinträchtigungen				
	Ver- besse- rung	Wahr- scheinl. keine	gering	mittel	hoch
Grundwasser					
Neubildung		x			
Dynamik (Strömung, Flurabstand, zeitl. Re- gime)		x			
Qualität (Schad- und Nährstoffarmut)		x			
Oberflächengewässer					
Bezeichnung/ Name(n)					
Gewässermorphologie (Längs-/ Querprofil, Ufer)		x			
Dynamik (Strömung, Hochwasser, Abflussre- gime, Erosion, Akkumul.)		x			
Wasserqualität (Schad- und Nährstoffarmut)		x			

5.7.5 Beeinträchtigung Schutzgut Luft und Klima

In der folgenden Tabelle sind die der Studie zu Grunde gelegten Annahmen dargelegt:

Tab. 16: Beeinträchtigungen Schutzgut Luft und Klima

Betroffene Funktionen und Werte	Beeinträchtigungen				
	Ver- besse- rung	Wahr- scheinl. keine	gering	mittel	hoch
Luft und Klima					
Kaltluftentstehung, -abfluss, -strömungen			x		
Lufthygiene (Durchlüftung v. Wohnquartieren, Luftfeuchte, Temperatur)		x			
Luftqualität (Staub- und Schadstoffe)		x			
Örtliche Windrichtungen und –stärken		x			
Besonnung und Reflexion (Temperatur, Bioklima)			x		

5.7.6 Beeinträchtigung Schutzgut Landschaft

Das Landschaftsbild ist in Verbindung mit der extensiven Erholungsfunktion ein analytischer Schwerpunkt für die Beurteilung der einzelnen Standorte. Seine hohe Bedeutung liegt in seiner Sensitivität begründet. Darüber hinaus besitzt das Landschaftsbild auf Grund seiner jeweilig individuellen Ausprägung eine hohe Strahlkraft, die von den Betrachtern, bewusst oder unbewusst, wahrgenommen wird.

In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Punkte aufgeführt:

Tab. 17: Beeinträchtigungen Schutzgut Landschaft

Betroffene Funktionen und Werte	Beeinträchtigungen				
	Ver- besse- rung	Wahr- scheinl. keine	gering	mittel	hoch
Landschaft					
Eigenart des Landschafts-/ Ortsbildes				x	
Landschaftstypische Ortsrandgestaltung				x	
Vielfalt und strukturelle Natürlichkeit			x		
Sicht- und Freiraumbezüge		x			
Zugänglichkeit, Betretbarkeit		x			
Erlebbarkeit von Landschaftsräumen		x			
Naherholung, Erlebnis- und Naturerfahrungsraum				x	
Historische Kontinuität		x			
Prägende Einzelschöpfungen (z. B. Bäume)		x			

Allgemeine Ausführungen zur potenziellen Blendwirkung der PVA

Die Moduloberflächen werden von Süden als homogener Fremdkörper mit höherer Helligkeit in der umgebenden Landschaft wahrgenommen. Je nach Lage und Entfernung können in der umliegenden Nachbarschaft Blendwirkungen auftreten, die hinsichtlich ihrer Dauer ggf. als Belästigung einzustufen sind.

Auf den Modulen ist die Reflexion des einfallenden Lichtes unerwünscht, da die Reflexion die energetische Ausbeute verringert. Die Reflexion ist aber nicht vollständig vermeidbar. Etwa 5-8 % des einfallenden Lichtes wird an die Umgebung reflektiert, BMU (2007) und BfN (2009), bei reflexionsarmen Modulen noch ca. 1 %.

Die der Studie zu Grunde gelegten PVA weisen fest installierte Modultische mit einer Neigung von ca. 25° und einer Ausrichtung nach Süden auf. Daher werden die Sonnenstrahlen in der Mittagszeit in den Himmel reflektiert. Dieser Effekt ist insbesondere im Sommer bei hoch stehender Sonne gegeben. Die im Süden der PVA liegenden Flächen sind folglich von keiner Reflexion betroffen, da die Module den größten Teil des Lichtes absorbieren und den Rest in Richtung Himmel reflektieren.

Anders verhält sich die theoretische Reflexion auf Solarmodule bei nieder stehender Sonne am Morgen/Vormittag und am Nachmittag/Abend. Hier steht die Sonne im Osten bzw. Westen, trifft in flachem Winkel auf die PV-Module und kann dort mit hohem Reflexionsgrad zu Immissionsorten im Westen bzw. Osten hin reflektiert werden. Je nach Nähe potenzieller Immissionsorte und Größe der Anlage kann es zu Immissionsdauern von mehr als 30 Minuten am Tag kommen. Oberhalb dieser Schwelle sollte durch Einzelfallbetrachtung geprüft werden, ob die Blendung eine erhebliche Belästigung der Nachbarn darstellt.

Gerade bei größeren PV-Projekten, wie sie auf Deponien oftmals verwirklicht werden, empfiehlt sich die Einholung eines lichttechnischen Gutachtens zur Klärung der Dauer einer möglichen Blendwirkung auf die Umgebung.

5.7.7 Beeinträchtigung von Kultur- und sonstigen Sachgütern

Wie ausgeführt, werden keine Kulturgüter oder Bodendenkmale durch die vorgesehenen PVA in Anspruch genommen oder beeinträchtigt.

5.7.8 Wechselwirkung zwischen den vorgenannten Schutzgütern

Wie bereits ausgeführt sind die Schutzgüter Landschaftsbild/ Erholung und Mensch eng miteinander verbunden.

5.8 Landschaftsplanerische Maßnahmen

Im weiteren Verlauf sind potenzielle Maßnahmen aufgezählt, mit denen erhebliche Beeinträchtigungen der Umwelt vermieden, vermindert oder soweit wie möglich ausgeglichen werden können. Außerdem sind Maßnahmen aufgeführt, die dem Schutz vorhandener Bestände und Biotope während der Bauphase dienen. Ferner sind Ersatzmaßnahmen für den nicht im Geltungsbereich der Vorhabensplanung ausgleichbaren und somit verbleibenden Resteingriff beschrieben.

5.8.1 Vermeidungsmaßnahmen und Eingriffsminderung

Der Vorhabensträger ist per Baugesetzbuch und Naturschutzgesetz verpflichtet, zunächst alle erheblichen Beeinträchtigungen zu vermeiden oder zumindest so gering wie möglich zu halten. Als

nächster Schritt in der Hierarchie der Schadensbegrenzung folgen Ausgleichsmaßnahmen zur Kompensierung des unvermeidbaren Eingriffes.

Für die Studie sind die im Normalfall umsetzbaren Vermeidungs- und Minimierungsmaßnahmen, die zum Schutz von Natur und Landschaft und zur Bewahrung der Schutzgüter im Planungsbereich getroffen werden können, angenommen und der Bewertung des einzelnen Standortes zu Grunde gelegt. Es folgt die Auflistung und Erläuterung der Vermeidungs- und Minimierungsmaßnahmen.

5.8.1.1 Vermeidungsmaßnahmen

V1: Standortwahl

Mit den gewählten Standorten auf Deponieflächen sind bereits vorbelastete Planungsgebiete für die Bauvorhaben ausgewählt. Dies trifft insbesondere auf die Potenziale Menschen/ Menschliche Gesundheit, Geologie/ Boden, Grund- und Oberflächenwasser sowie Lokalklima zu. Diese Potenziale werden auf Grund der bereits vom Naturkreislauf entkoppelten bzw. künstlich veränderten Standorte, nicht weiter beeinflusst oder beeinträchtigt.

Selbst die Potenziale Biotop- und Artenschutz sowie Landschaftsbild/ Erholung sind, mit den Vorbelastungen durch die einzelne Deponie, bereits stark verändert und/ oder beeinträchtigt.

Folglich kann für die Errichtung einer PVA auf den Deponiestandorten ein geringerer Eingriff in den Naturhaushalt und die Landschaft einschließlich des Landschaftsbildes prognostiziert werden als es an anderer naturnaher Stelle der Fall wäre.

V2: Störung Vogelbrutzeit

Um eine Störung des Brutbetriebs potenzieller Boden-/ Staudenbrüter auf der Vorhabensfläche auszuschließen, ist die Bauzeit auf das Zeitfenster August bis Februar und somit außerhalb der Vogelbrutzeit zu fixieren. Dies gilt auch für den Rückbau der Anlage am Ende der Laufzeit.

V3: Versickerung

Sowohl in den Rekultivierungsflächen, wie auch in versiegelten Bereichen der vorhandenen Asphalt-Betonflächen bleibt die Versickerung des Niederschlagswassers unverändert erhalten, da die Niederschläge am Rande der Modultische abtropfen und innerhalb des PV-Geländes versickern. Vorfluter werden durch die PVA selbst nicht in Anspruch genommen.

V4: Erhalt von Baum-/ Gehölzbeständen

Generell wird in der Studie der weitgehende Erhalt der Vegetationsstrukturen mit ausgedehnten Wiesenflächen, Ruderalfluren, Sträuchern und Baumgruppen angenommen. Zudem wird davon

ausgegangen, dass im Falle der Rodung gleichwertige Pflanzungen von Sträuchern und/ oder Bäumen innerhalb der Vorhabensfläche oder auf einer gleichwertigen Ersatzfläche realisiert werden.

V5: Einzäunung

Auf Grund der meist bereits bestehenden Einzäunung einer Deponie ergibt sich kein Eingriff durch die geplanten PVA.

V6: Austrocknung/ Verkahlung

Die geneigt aufgestellten Modultische haben einen Bodenabstand von mindestens 80 cm bzw. von höchstens 2,50 m. Dieser Abstand ermöglicht ausreichend Streulicht und Sprühregen unter den Modultischen, so dass eine Austrocknung und Verkahlung der Flächen unter den Tischen nicht zu erwarten ist.

V7: Silhouettenwirkung

Durch die geringe Gesamthöhe der Modultische von 0,80 m bis 2,50 m ist keine erhebliche Silhouettenwirkung zu erwarten.

V8: Trenn-/ Barrierewirkung für Naherholung

Die PVA verursachen keine relevante Trenn-/ Barrierewirkung im Landschaftsraum, da dieser durch die meist bereits bestehende Umzäunung infolge der Nutzung als Deponiefläche der Öffentlichkeit entzogen ist.

Auf Grund der künstlichen Prägung des Standortes besitzen viele Deponieflächen eine verminderte Erholungsqualität. In einzelnen Fällen sind Aussichtspunkte durch einen ‚Deponieberg‘ entstanden oder wird eine Folgenutzung der Deponie als Naherholungsgebiet angestrebt.

5.8.1.2 Minimierungsmaßnahmen

Folgende Minimierungsmaßnahmen werden für jedes Bauvorhaben angenommen:

M1: Schutz von Gehölzbeständen

Für die durch die Baumaßnahme gefährdeten Gehölzbestände sind pflanzenbauliche Schutzmaßnahmen, wie Wurzel- und Stammschutz, durchzuführen. Das Befahren der Wurzelbereiche ist grundsätzlich zu vermeiden.

M2: Massenausgleich

Im Zuge der Anlageninstallation fällt für die Kabelgräben Erdaushub an. Dieser Aushub ist zwischenzulagern und nach Beendigung der Fundamentierungs-/ Kabelarbeiten unter Massenaus-

gleich wieder in den Gräben einzubauen. Im Falle von überschüssigem Material ist dieses auf dem Gelände zu planieren. Die Abfuhr von Erdmaterial ist nur in Ausnahmefällen, z. B. bei belastetem bzw. mit Bauschutt verunreinigtem Aushubmaterial, erforderlich.

M3: Bodenverdichtung

Als Haupterschließung können vorhandene Asphaltflächen und Schotterwege dienen. Das Baugelände selbst ist nur in trockenem Zustand für den Bodenaushub (Kabeltrassen), das Eindrehen der Drehfundamente bzw. den Einbau von Plattenfundamenten und die Installation der Module zu befahren.

M4: Erosion

Die durch die Graben- und Fundamentierungsarbeiten sowie den Massenausgleich entstandenen offenen, vegetationsfreien Bodenflächen sind nach Abschluss der Arbeiten zum Schutz vor Erosion sofort mit standortheimischem Saatgut anzusäen.

M5: Erhalt von Biotoptypen

Der Typ ‚Offenlandbiotop‘ bleibt strukturell und in seiner Flächengröße erhalten. Durch die Installation der PV-Elemente bleibt die extensive Grünlandnutzung unverändert. Der Biotoptyp ‚Ruderalflur‘ sowie die Heckenpflanzungen bleiben weitgehend erhalten, nur in Teilbereichen sind Bäume und Gehölze zu fällen und können im direkten Umfeld durch entsprechende Neupflanzungen ersetzt werden.

M6: Insektenverträgliche Beleuchtung

Sollte eine Beleuchtung im Bereich der Trafostationen und der PVA installiert werden, sind insektenverträgliche Natriumdampflampen zu verwenden.

M7: Rückbau

Nach Ende der Laufzeit ist die PVA zurückzubauen. Weitere Vermeidungen oder Minimierungen können für die geplanten Projekte nicht aufgezeigt werden. Mit Darlegung der oben genannten Vermeidungs- und Minimierungsmaßnahmen können die aufgeführten Konfliktpunkte positiv beeinflusst und kompensiert werden. Die vorgenannten Vermeidungs- und Minimierungsmaßnahmen sind der Studie zu Grunde gelegt und in der Bewertung der einzelnen Standorte berücksichtigt.

Es verbleiben die Konfliktpunkte:

- Bodenversiegelung
- Biotop- und Artenschutz (eingeschränkt)
- Visuelle Wirkung, Nahwirkung

- Landschaftsbild/ Erholung

die in den folgenden Kapiteln betrachtet werden.

5.8.2 Ausgleichsmaßnahmen

Vorbemerkung:

Gemäß den gesetzlichen Regelungen ist für die unvermeidbaren Wirkungen des vorliegenden Bauprojektes ein Ausgleich zu schaffen. Ist dies nicht möglich, so greifen Ersatzmaßnahmen. Dabei handelt es sich um vorhabensferne Maßnahmen, die dem Natur- und Landschaftsschutz dienen. Sie müssen in ihrer Art nicht direkt dem Eingriff entsprechen, sondern lediglich dem Umfang im übertragenen Sinne. Aus naturschutzfachlicher Sicht müssen die Kompensationsmaßnahmen d. h. Ausgleichs- bzw. Ersatzmaßnahmen, dem durch den Eingriff verursachten Wertverlust entsprechen. Hierbei geht die zeitliche Verschiebung zwischen Biotopverlust und vollwertiger Wiederherstellung an anderer Stelle in die Bewertung mit ein. Die Gewichtung dieses ‚time lag‘ sichert die entsprechende Wertigkeit der Kompensationsmaßnahme.

Den Grundsätzen, den Eingriff möglichst in räumlicher Nähe und innerhalb des Schutzguts auszugleichen, kann mit den planintern realisierbaren Ausgleichsmaßnahmen Rechnung getragen werden.

Mögliche Ausgleichsmaßnahmen für die Anlage von PVA sind:

- Die Anlage von Gehölzpflanzungen zur Einbindung der Maßnahme in die Landschaft, oder zur Schaffung von Ersatzbiotopen für verschiedene Arten
- Die Einrichtung anderer Ersatzbiotope wie Ruderalflächen, Wildbrachen, Gewässer, Steinschüttungen etc.
- Bodenverbesserungen wie Bodenlockerungen, Entsiegelungen etc.

5.9 Eingriffsbewertung und Kostenermittlung

Die Bewertung der Eingriffsintensität durch die geplanten PVA auf den Deponiestandorten ist anhand des Rundschreibens des Bayerischen Staatsministeriums des Innern vom 19.11.2009 über Freiflächen-PVA [6] erstellt. Grundsätzlich sieht hier die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung vor, die sogenannte Basisfläche, d. h. die eingezäunte Fläche abzüglich eines mindestens 5 m breiten Grünstreifens bzw. einer Biotopfläche, der Berechnung zu Grunde zu legen. Diese Fläche ist mit einem Kompensationsfaktor zu multiplizieren. Es werden zwei grundsätzliche Fälle für diese naturschutzrechtliche Eingriffs-/ Ausgleichsberechnung unterschieden:

Der erste Regelfall sieht einen Kompensationsfaktor von 0,2 für die Realisierung der Ausgleichsmaßnahmen vor, da man hier von der Herstellung der Kompensationsmaßnahmen innerhalb bzw. im Umfeld der Vorhabensfläche, ausgeht. Der Kompensationsfaktor kann auf 0,1 reduziert werden, wenn eingriffsmindernde Maßnahmen innerhalb oder außerhalb der Anlage vorgesehen sind. In der vorliegenden Studie werden die Realisierung dieser Kompensationsmaßnahmen als gesichert und ihre Kosten als verhältnismäßig gering angenommen.

Der zweite Regelfall sieht einen Kompensationsfaktor von 1,0 für die Herstellung der Kompensationsmaßnahmen vor. Dies ist dann der Fall, wenn im Zuge der planungsrechtlichen Genehmigung für die Errichtung der Deponie, die Deponiefläche bereits selbst oder in Teilen als Ausgleichsfläche für ihren Eingriff in Naturhaushalt und Landschaft dient. Folglich steht diese Fläche nicht mehr für weitere Kompensationsvorgänge zur Verfügung. Sofern diese bereits rechtlich gebundene Ausgleichsfläche im Bereich der geplanten PVA liegt, muss dieser Flächenanteil folglich an anderer Stelle und im Verhältnis 1:1 kompensiert werden. Falls auf der Deponie keine Restflächen für diese Ausgleichsmaßnahme mehr verbleiben, sind sogenannte „Ersatzmaßnahmen“ erforderlich, die nur durch zusätzlichen Grunderwerb mit Vertragsverhandlungen gesichert werden können. Landkreise haben oft schon entsprechende Flächen gesichert und ausgewiesen. Bei besonders schwerwiegenden Eingriffsmomenten kann sich der Kompensationsfaktor auf 1,2 erhöhen. Dies kann dann auftreten, wenn sich auf der rekultivierten Deponie bereits hochwertige Biotopstrukturen gebildet haben und/ oder schützenswerte Tierarten einstellen. In der vorliegenden Studie werden die Realisierung dieser Ersatzmaßnahmen daher als sehr aufwendig und ihre Kosten als sehr hoch angenommen.

Im Folgenden werden die ermittelten Kostenansätze für die Planung und die Realisierung der angesprochenen Maßnahmen dargelegt. Zu Grunde gelegt sind die aktuellen Kostenstrukturen aus realisierten bzw. in Planung befindlichen PVA (Ulm-Eggingen in Baden-Württemberg, Anklam in Mecklenburg-Vorpommern, Mutlanger Heide in Baden-Württemberg).

Generell sind die zwei ausgeführten Fälle unterschieden und in separaten Kostentabellen dargelegt. Kostentabelle 18 legt den regulären Fall mit einem Kompensationsfaktor von 0,1 – 0,2 und Kostentabelle 19 den Fall mit einem erhöhten Kompensationsfaktor von 1,0 – 1,2 zu Grunde:

Tab. 18: Kostenansätze für landschaftsplanerische Belange (Kompensationsfaktor 0,1 – 0,2)

Grad der Beeinträchtigung ²	gering	gering-mittel	mittel	mittel-hoch	hoch
Kostenpunkte Planung [€/ha]					
Bebauungsplan	1.000	1.100	1.150	1.200	1.300
Landschaftspflegerischer Begleitplan	1.000	1.100	1.150	1.150	1.300
Artenschutzrechtliche Prüfung	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Kostenpunkte Ausführung [€/ha]					
Ausgleichsmaßnahmen (incl. Planung)	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Ersatzmaßnahmen (incl. Planung)	0	500	1.500	13.000	30.000
Gesamtkosten [€/ha]³	6.000	6.700	7.800	19.350	36.600

Tab. 19: Kostenansätze für landschaftsplanerische Belange (Kompensationsfaktor 1,0 – 1,2)

Grad der Beeinträchtigung ⁴	gering	gering-mittel	mittel	mittel-hoch	hoch
Kostenpunkte Planung [€/ha]					
Bebauungsplan	1.000	1.100	1.150	1.200	1.300
Landschaftspflegerischer Begleitplan	1.000	1.100	1.150	1.150	1.300
Artenschutzrechtliche Prüfung	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Kostenpunkte Ausführung [€/ha]					
Ausgleichsmaßnahmen (incl. Planung)	0	0	0	0	0
Ersatzmaßnahmen (incl. Planung)	8.000	10.000	16.000	33.000	55.000
Gesamtkosten [€/ha]⁵	11.000	13.200	19.300	36.350	58.600

Die am Standort anzusetzenden Kostenpunkte und daraus resultierende Gesamtkosten für landschaftsplanerische Belange sind in den einzelnen Machbarkeitsstudien angegeben. Diese Kosten gingen in die Ermittlung der standortbezogenen Nebenkosten ein.

² Nach: Tab. 10: Bewertung der Beeinträchtigung von Natur und Landschaft durch das Vorhaben

³ € / ha Bruttofläche horizontal aus Tab. 3

⁴ Nach: Tab. 10: Bewertung der Beeinträchtigung von Natur und Landschaft durch das Vorhaben

⁵ € / ha Bruttofläche horizontal aus Tab. 3

6 METHODIK DER WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG

6.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Errichtung von PVA auf den Deponiestandorten wird auf Grundlage des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) in der am 28.06.2012 vom Bundestag beschlossenen Fassung durchgeführt.

Es wird die zum jeweiligen Zeitpunkt der Inbetriebnahme (Szenarien Jan 2013 / Jan 2014 / Jan 2015) gültige Einspeisevergütung für Freiflächenanlagen gemäß EEG in der am 28.06.2012 vom Bundestag beschlossenen Fassung herangezogen. Für eine spätere Installation der PVA wird angenommen, dass sich Einspeisevergütung und PVA-Kosten in Zukunft im Gleichklang ändern und damit die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in ihrer Grundaussage mittelfristig Bestand hat. Ergänzend zur Vergütung nach dem EEG sowie den Einstrahlungs- und Ertragsdaten am Standort bedarf eine Wirtschaftlichkeitsberechnung zusätzlicher Annahmen. Neben den Annahmen zur Finanzierung und einigen Systemparametern ist dies vor allem der Anlagenpreis.

Das Produkt aus installierbarer Leistung in kWp und spezifischem Preis je Leistungseinheit (€/kWp) ergibt zusammen mit standortspezifischen Nebenkosten die Gesamt-Investitionskosten. Die Zusammensetzung der Nebenkosten und ihre Abschätzung für die Deponie werden in Kapitel 6.2 erläutert.

Im derzeitigen wirtschaftlichen Umfeld mit einer einschneidenden Senkung der Einspeisevergütung zum 01.04.2012 (siehe Bundestagsbeschluss) von bislang 17,94 auf 13,50 ct/kWh ist jedoch keine seriöse Aussage über die Preisentwicklung auf dem Photovoltaikmarkt möglich, schon gar nicht über die nächsten 3 Jahre. Allein in den vergangenen 2 ½ Jahren haben sich die Anlagenpreise halbiert, die Modulpreise gedrittelt.

Die Einspeisevergütungen des novellierten EEG wurden so gestaltet, dass eine monatliche Vergütungsabsenkung „atmend“ mit dem Zubau an PV-Leistung des jeweils rollierend vergangenen Jahres definiert wurde. Als Regelabsenkung wurde 1 % pro Monat, jeweils auf den letzten Monatswert bezogen, festgelegt. Als Basis dient der am 01.04.2012 gültige Wert von 13,50 ct/kWh. Die erste Absenkung erfolgt, auch rückwirkend, zum 01.05.2012.

Die maximale Reduzierung beträgt im schlechtesten Fall, also bei sehr hohem Zubau ab 7.500 MW (im Bemessungsjahr) 2,8 % pro Monat. Im besten Fall, d. h. bei Zubau bis zu 1.000 MW, ist eine Erhöhung um 1,5 % für einen 3-Monatszeitraum vorgesehen. Die Auswirkungen dieser beschriebenen Szenarien sind in Abbildung 12 dargestellt.

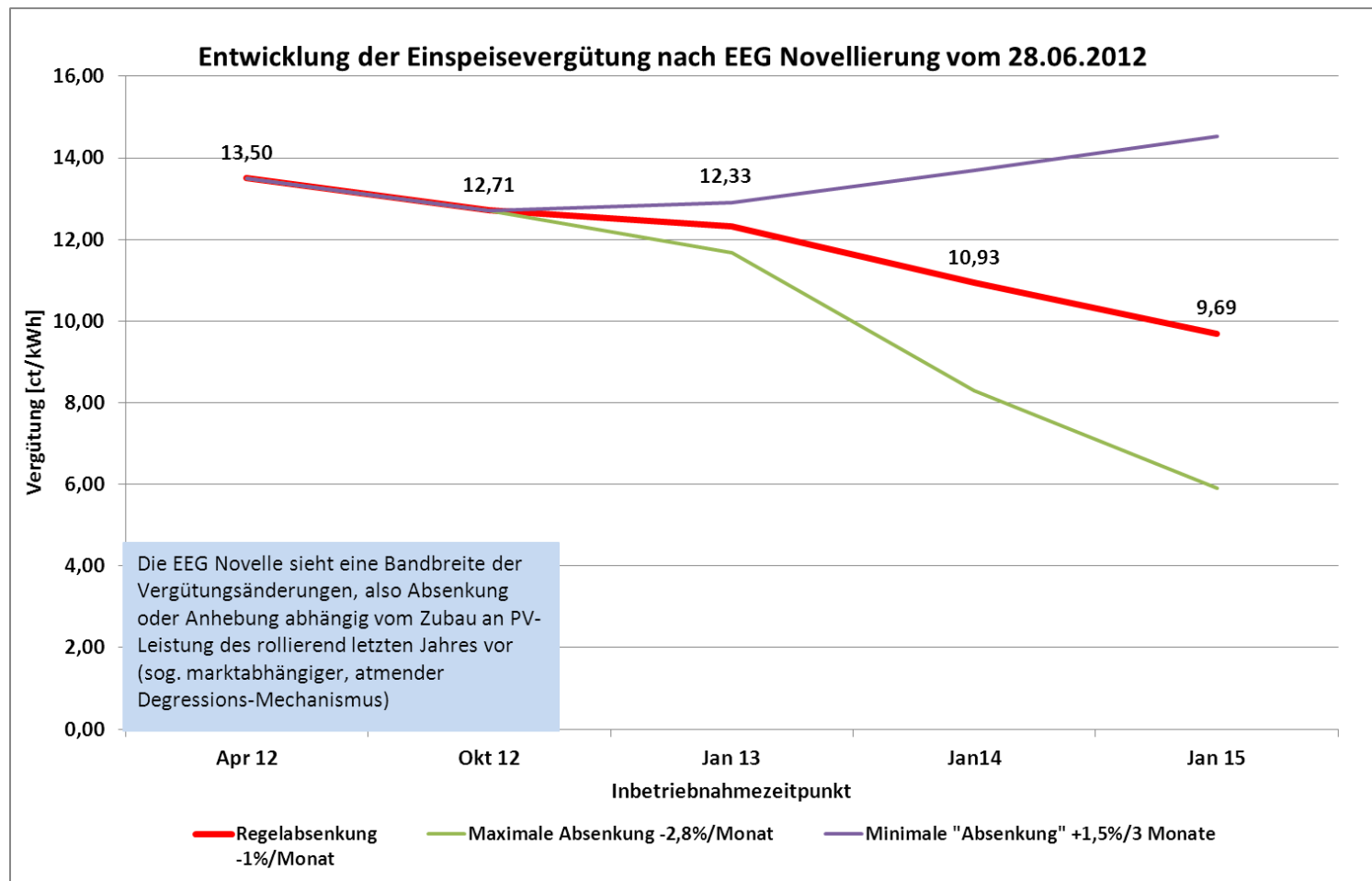


Abb. 12: Entwicklung der Einspeisevergütung

In tabellarischer Form stellen sich die monatlichen Degressionen in Abhängigkeit vom Zubau wie in Tabelle 20 dar.

Tab. 20: „Atmende“ Vergütungsabsenkung [5]

Stufen	Prozent-schritte	Absenkung pro Monat (gültig für 3 Monate)	Maximale Absenkung pro Jahr (mit Zinseffekten)
ab 7.500 MW	+ 0,3 PP	2,8 %	29 %
ab 6.500 MW	+ 0,3 PP	2,5 %	26 %
ab 5.500 MW	+ 0,4 PP	2,2 %	23 %
ab 4.500 MW	+ 0,4 PP	1,8 %	19 %
ab 3.500 MW	+ 0,4 PP	1,4 %	15 %
Zubaukorridor: 2.500 bis 3.500 MW	1 %	1 %	11,4 %
ab 2.000 MW	- 0,25 PP	0,75 %	9 %
ab 1.500 MW	- 0,25 PP	0,5 %	6 %
ab 1.000 MW	- 0,5 PP	0 %	0 %
bis 1.000 MW	- 0,5 PP *	- 0,5 %	- 6 %

* Wenn der Zubau in den vorangegangenen zwölf Monaten unterhalb von 1000 MW liegt, steigt die Vergütung einmalig am Anfang des neuen Quartals um 1,5 Prozent und die Degressionsschritte werden in diesem Quartal ausgesetzt.

Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten am Markt und der einer laufenden Änderung unterworfenen Einspeisevergütung wurde eine an diese Situation angepasste, grundsätzlich andere Wirtschaftlichkeitsberechnung als üblich durchgeführt, deren Ergebnis auch über die nächsten Jahre Bestand haben dürfte. Ziel der Berechnung ist eine Aussage darüber, was eine Anlage zu variablen Zeitpunkten der Inbetriebnahme kosten darf, um wirtschaftlich zu sein.

Mit dieser Vorgehensweise sind auch Kosten berücksichtigt, die im jetzigen Stadium nicht oder nur ungenau abgeschätzt werden können.

Es wurden mit den folgenden Parametern für drei Inbetriebnahmezeitpunkte die folgenden Szenarien berechnet:

- Inbetriebnahme Jan 2013, Jan 2014 und Jan 2015 (alle dazwischen liegenden Zeitpunkte können aus den Ergebnissen interpoliert werden),
- jeweils Verzinsung des investierten Kapitals mit 2 % und 4 % (äquivalent zu einer entsprechenden Bankanlage des Investments mit diesen Zinssätzen),
- jeweils Annahme von 100 % Eigenfinanzierung bzw. einer staatlichen Förderung von 200 €/kWp installierbarer Leistung bis zu einem Höchstbetrag von 200.000 €,
- Einspeisevergütung nach EEG Regelvergütungsabsenkung (1 %/Monat).

In einem weiteren Szenario wurde berechnet, welche Rendite bei Zugrundelegung von spezifischen Anlagenkosten von netto 1.100 €/kWp zzgl. Nebenkosten und Baugenehmigung bei Inbetriebnahme im Januar 2013 ohne bzw. mit einer staatlichen Förderung erzielt würde (Abb. 17, Abb. 18, Kap. 6.3).

Des Weiteren gingen folgende Größen in die Wirtschaftlichkeitsberechnung ein:

- Leistungs-Degradation der kristallinen Module pro Jahr: 0,4 %,
- Berücksichtigung aller Nebenkosten,
- Berücksichtigung der Betriebskosten in Höhe von jährlich 1 % der Investitionskosten ohne Nebenkosten (Wartungsvertrag, Versicherungen),
- Standortbezogene Solarerträge,
- Ausrichtung der Modultische der Teilflächen.

6.2 Nebenkosten

Um eine PVA wirtschaftlich darzustellen, spielen die Nebenkosten eine wesentliche Rolle. Grundsätzlich beeinflussen die Nebenkosten umso weniger das wirtschaftliche Ergebnis negativ, je größer die Anlage gebaut werden kann, da einige der Kosten fix oder fix-variabel sind. Die ermittelten Nebenkosten gingen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung summarisch ein.

Tabelle 21 zeigt die verwendeten Kostenansätze der Nebenkostenermittlung.

Tab. 21: Allgemeine Kostenansätze für Nebenkosten

Nebenkosten: Verwendete Kostenansätze			
1	Planung		
	Basis bis	1.000 kWp	100.000 €
	jedes weitere kWp bis	5.000 kWp	20 €
	jedes weitere kWp bis	10.000 kWp	10 €
2	Kategorien Roden		
	Kat. 1: Erdböschung oder Grünland ohne störenden Bewuchs		0,00 €/m ²
	Kat. 2: Buschwerk, Sträucher, einzelne Bäume		0,15 €/m ²
	Kat. 3: Vorwald (Alter bis. ca. 20 a)		1,00 €/m ²
3	Kosten Zaun (Höhe 2,0 m, ca. 30 €/lfdm zzgl. Kosten Tore/Verstrebung)		40 €/lfdm
4	Kosten Vermessung je MWp		3.000 €/MWp
5	Kosten Mittelspannungsanschluss		
	Übergabestation bei Leistung unter 1MVA		25.000 €
	Übergabestation bei Leistung ab 1MVA		50.000 €
	Leitungskosten PV-Trafo zur Übergabestation		50 €/lfdm
6	Pachtkosten in Prozent des laufenden Ertrags		3,00 %
7	Baugenehmigung in Prozent der Investition		0,60 %

Erläuterung der Methodik zur Nebenkostenermittlung:

- 1: Planungskosten wurden fix-variabel mit den angegebenen Grenzen angesetzt.
- 2: Rodungskosten: Jeder Teilfläche wurde eine von 3 Rodungskategorien zugeordnet, die mit spezifischen Rodungskosten je m² hinterlegt sind.
- 3: Falls ein Zaun gebaut werden muss, ist dieser mit Kosten pro laufenden Meter hinterlegt.
- 4: Die Kosten für die Vermessung bemessen sich variabel mit der Anlagengröße.
- 5: Kosten für das Verlegen eines Mittelspannungskabels zum nächstgelegenen Übergabepunkt des jeweiligen Netzbetreibers sowie Kosten für den erforderlichen Mittelspannungsanschluss. Die Kosten für die Übergabestation sind abhängig von der Größe der Anlage. Bis zu einer Leistung von 1 MVA (Mega-Volt-Ampere) werden 25.000 € angesetzt. Bei einer Leistung von über 1 MVA betragen die Kosten wegen höherer Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen 50.000 €. Als Kosten für die Verlegung eines Mittelspannungskabels wurden 50 €/lfdm. angesetzt.
- 6: Mögliche Pachtkosten für die Fläche wurden mit 3,00 Prozent des jährlichen Ertrags angenommen und in der Wirtschaftlichkeitsberechnung durch einen entsprechenden prozentualen Abzug beim Ertrag berücksichtigt.
7. Die Baugenehmigung und die Kosten der abfallrechtlichen Anzeige wurden mit 0,6 Prozent der reinen Bausumme (Investitionskosten ohne Nebenkosten) angesetzt.

Die Kosten für die Aufstellung eines Bebauungsplans wurden bei den Kosten für landschaftsplanerische Belange berücksichtigt.

In folgender Tabelle 22 sind die zu erwartenden Nebenkosten am Musterstandort aufgelistet.

Tab. 22: Nebenkosten am Standort Musterdeponie

Nebenkosten: Musterdeponie			
1	Planung		100.000 €
2	Roden TF1	Kat. 2: Buschwerk, Sträucher, einzelne Bäume	585 €
3	Roden TF2	Kat. 1: Erdböschung oder Grünland ohne störenden Bewuchs	0 €
4	Roden TF3	Kat. 1: Erdböschung oder Grünland ohne störenden Bewuchs	0 €
5	Roden TF4	Kat. 1: Erdböschung oder Grünland ohne störenden Bewuchs	0 €
6	Roden TF5	Kat. 1: Erdböschung oder Grünland ohne störenden Bewuchs	0 €
7	Zaun	0 m	0 €
8	Vermessung		2.914 €
9	Übergabestation Mittelspannung, Entfernung	600 m	55.000 €
10	Landschaftsplanerische Belange (vgl. Kap. 5.9)	6.700 €/ha	13.333 €
Summe Nebenkosten (gerundet, ohne Pacht und Baugenehmigung)			172.000 €
11	Pachtkosten ja/nein	ja	3,00 %
12	Baugenehmigung in % der Investition		0,60 %

Die Erklärung der konkreten Nebenkosten ergibt sich im Wesentlichen aus dem zuvor Beschriebenen.

Zusätzlich zu den beschriebenen Nebenkostenansätzen, die in dieser Tabelle auf die Musterdeponie angewandt werden, sind in dieser Tabelle enthalten:

- 10: Landschaftsplanerische Belange. Die angegebenen Kosten je Hektar, die aus der landschaftsplanerischen Betrachtung des Standorts resultieren, werden mit der Bruttofläche aller Teilflächen multipliziert (Beispiel Musterdeponie: Kompensationsfaktor 0,1-0,2, Grad der Beeinträchtigung: gering-mittel).

Die Summe der Nebenkosten wird ohne die Zeilen 11 und 12 dargestellt, da diese in die Wirtschaftlichkeitsberechnung als Variable eingehen und abhängig vom Ertrag (11) bzw. der Investitionssumme (12) sind. Sie werden iterativ berechnet.

6.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

In die Berechnung gingen zusammengefasst die folgenden in den vorangehenden Kapiteln ermittelten Standortdaten ein:

Tab. 23: Nebenkosten am Standort Musterdeponie

Standort	Musterdeponie
Anlagenleistung (aus Tab. 6)	972 kWp
Spezifischer Ertrag (aus Tab. 6)	905 kWh/kWp*a
Nebenkosten (aus Tab. 22)	172.000 €
Baugenehmigung	0,60 % der Investition
Pachtkosten	3,00 % des Ertrags

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen gemäß den in Kapitel 6.1 dargelegten Szenarien sind in den folgenden Abbildungen 13 bis 18 dargestellt.

Mit dem durch die Bayerische Staatsregierung (StMUG) neu aufgelegten Förderprogramm „Alte Lasten – Neue Energien“ (ALNE) werden PVA auf ehemaligen Deponien mit einem einmaligen Investitionszuschuss von 200 €/kWp bis zu einem Höchstbetrag von 200.000 € pro Anlage gefördert⁶. In den folgenden Abbildungen werden die Wirtschaftlichkeits-Szenarien jeweils mit bzw. ohne diese staatliche Förderung dargestellt.

Abbildung 13 zeigt die maximalen spezifischen Netto-Investitionskosten pro kWp, ohne Nebenkosten, mit und ohne diese Förderung. Dargestellt wird ein Preis, den ein Bieter für die Installation eines kWp am Standort maximal fordern darf, damit Renditen von 2 % oder 4 % erzielt werden. Die Darstellung erfolgt für die Inbetriebnahmezeitpunkte Januar 2013, Januar 2014 und Januar 2015.

⁶ Homepage GAB: www.altlasten-bayern.de

Als Vergleich dient eine Bankanlage mit 20-jähriger Laufzeit und thesaurierender Verzinsung. Werte zwischen den dargestellten Zeitpunkten können durch Interpolation ermittelt werden.

Abbildung 14 zeigt die Gesamt-Investition netto inkl. Nebenkosten für die verschiedenen Inbetriebnahmezeitpunkte und Renditeerwartungen.

Abbildung 15 stellt den Ertrag bei einer Rendite von 2 % über 20 Jahre und die Gesamt-Investitionskosten netto inkl. Nebenkosten für die verschiedenen Inbetriebnahmezeitpunkte gegenüber.

Abbildung 16 stellt den Ertrag bei einer Rendite von 4 % über 20 Jahre und die Gesamt-Investitionskosten netto inkl. Nebenkosten für die verschiedenen Inbetriebnahmezeitpunkte gegenüber.

Abbildung 17 (ohne staatliche Förderung) und Abbildung 18 (mit staatlicher Förderung) zeigen den Cashflow am Beispiel der Inbetriebnahme der Anlage im Januar 2013 unter der Annahme von spezifischen Anlagen-Investitionskosten von netto 1.100 €/kWp und unter Berücksichtigung der ermittelten Nebenkosten inkl. Baugenehmigung. Um einen Vergleich mit einer thesaurierenden (direkt reinvestierenden) Bankanlage zu ermöglichen, wurde im Rechenmodell der laufende Ertrag der PVA mit demselben Bankzins, mindestens mit 2 %/a, wieder angelegt.

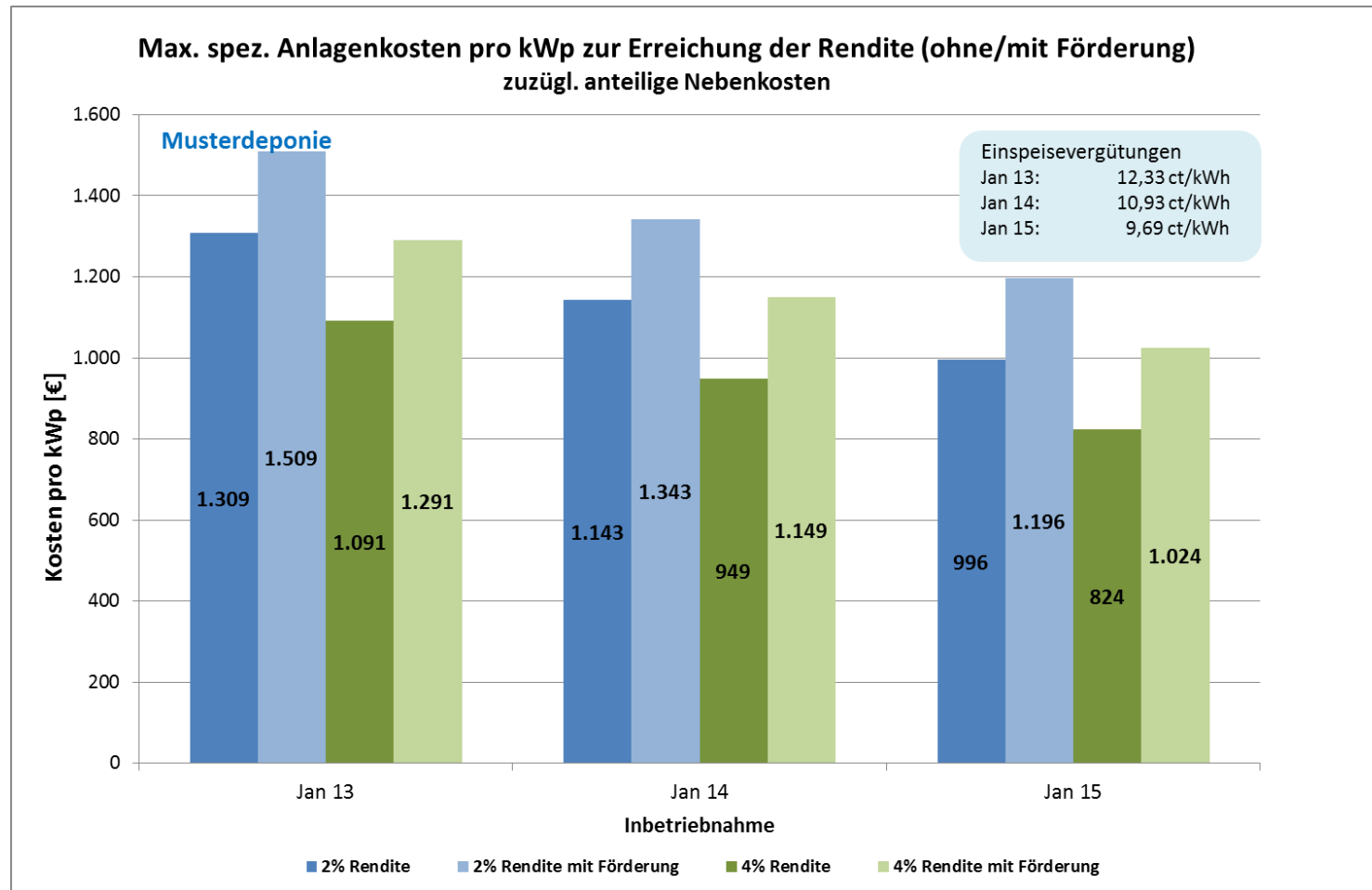


Abb. 13 Maximale spezifische Investitionskosten netto ohne Nebenkosten pro kWp

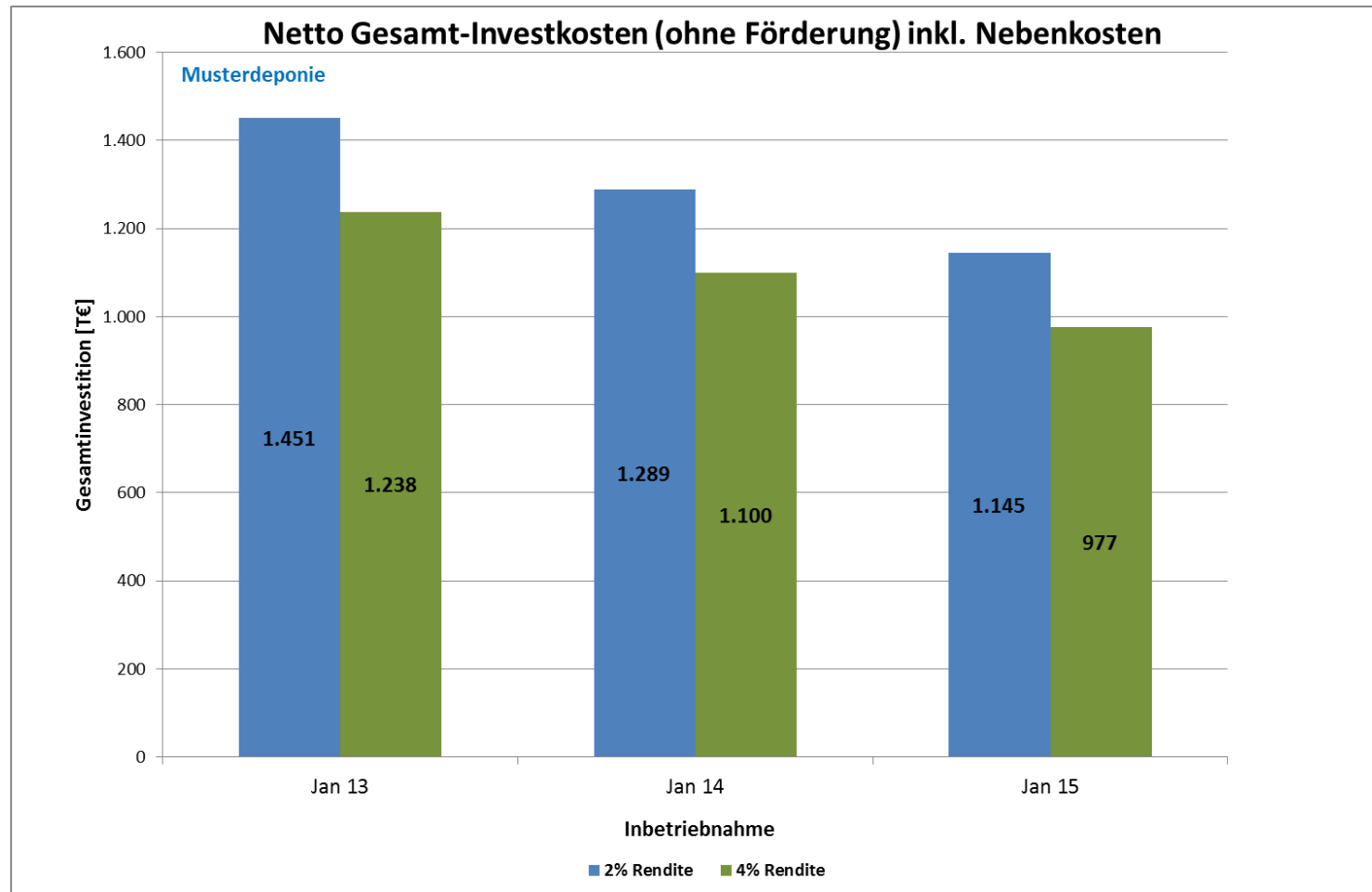


Abb. 14: Gesamt-Investitionskosten netto inkl. Nebenkosten

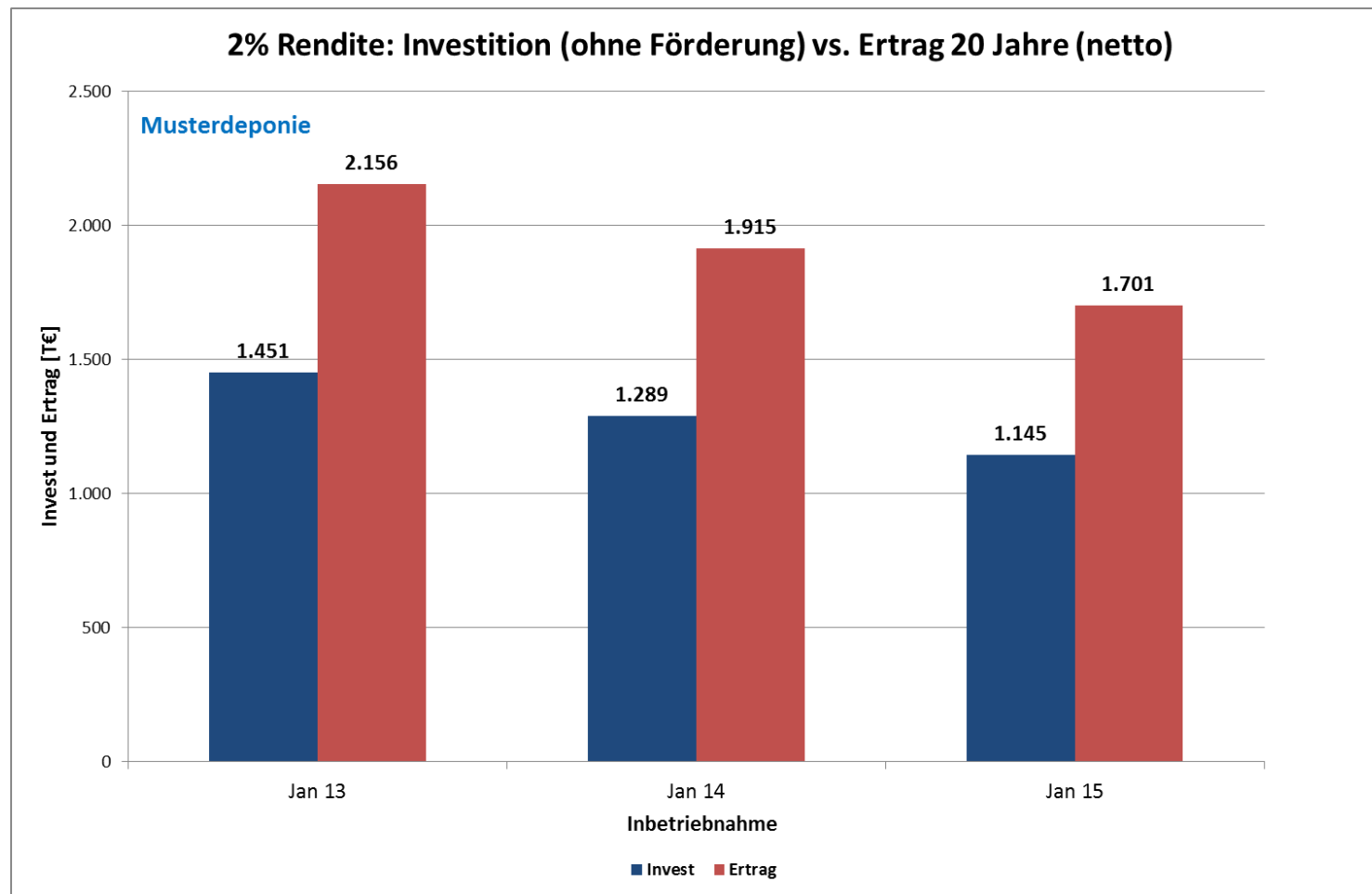


Abb. 15: Gesamt-Investitionskosten netto inkl. Nebenkosten und Ertrag bei 2 % Rendite

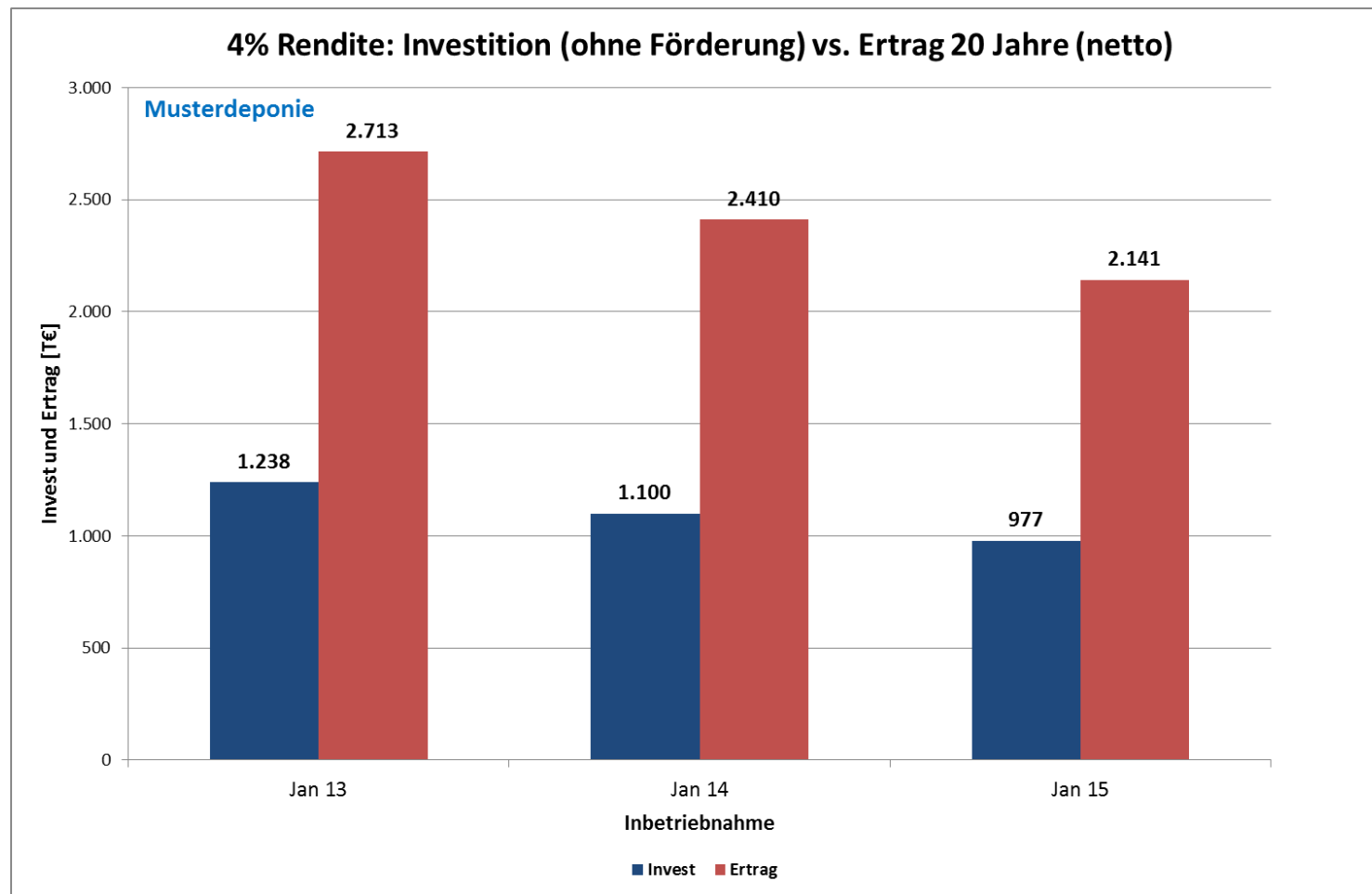


Abb. 16: Gesamt-Investitionskosten netto inkl. Nebenkosten und Ertrag bei 4 % Rendite

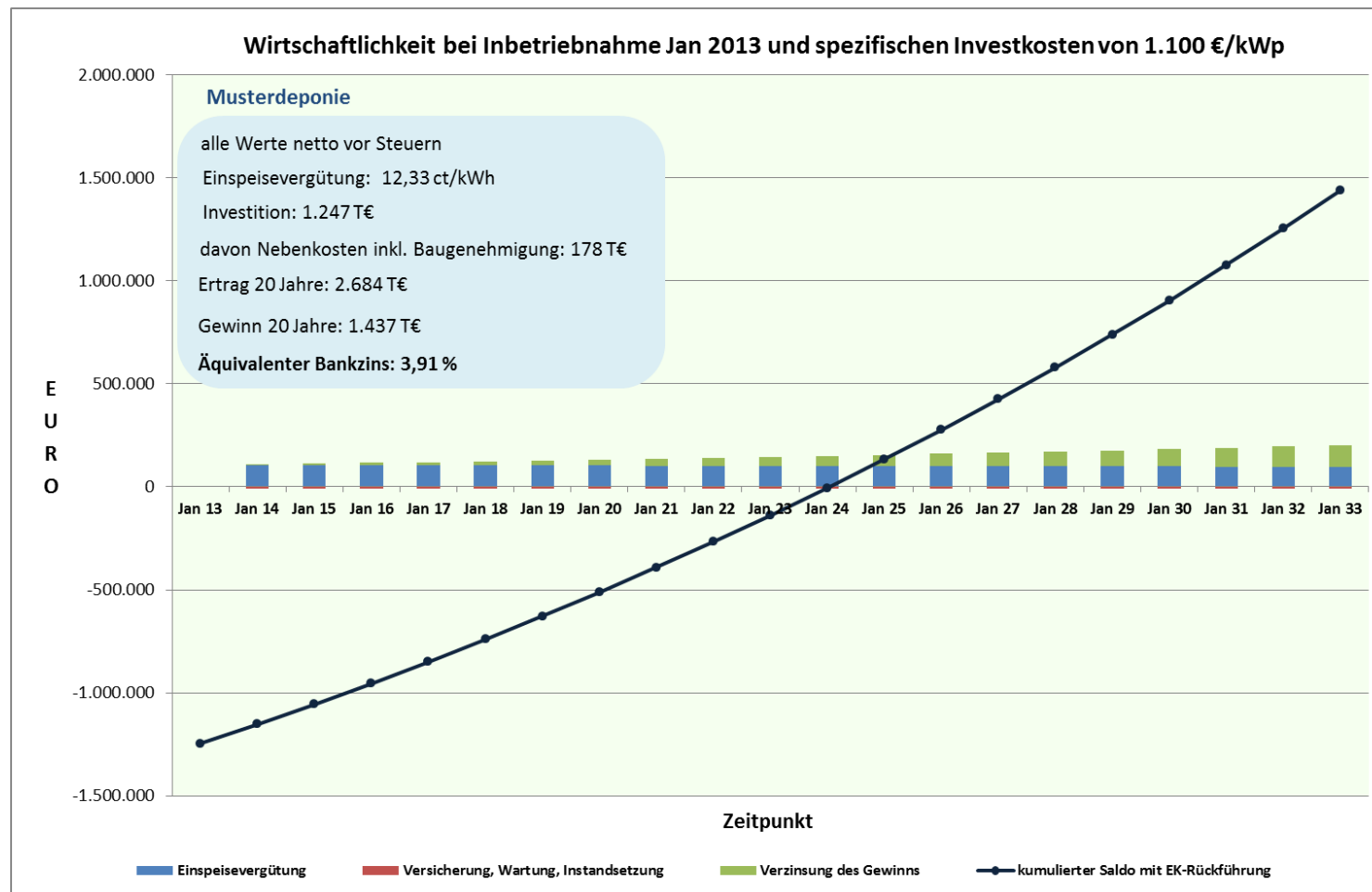


Abb. 17: Wirtschaftlichkeit PVA auf der Musterdeponie ohne staatliche Förderung

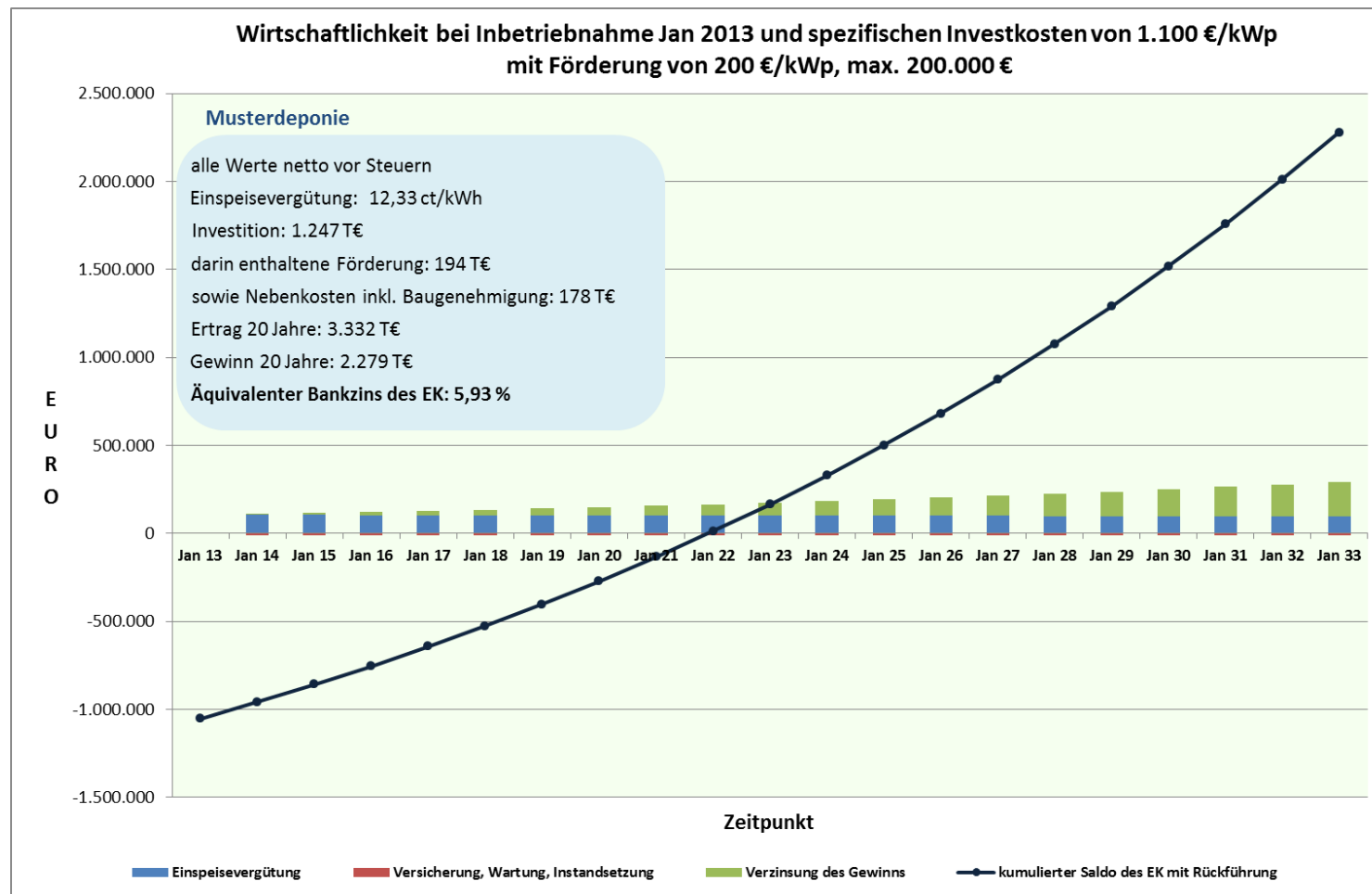


Abb. 18: Wirtschaftlichkeit PVA auf der Musterdeponie mit staatlicher Förderung

7 AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE ALLER STANDORTE

7.1 Nutzbare Flächen und Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht

Aus den einzelnen, für die 40 Standorte erstellten Machbarkeitsstudien wurden folgende Daten zusammengestellt:

- Gesamtfläche der Deponie [m²],
- für PVA nutzbare Bruttofläche [m²],
- für PVA nutzbare Nettofläche [m²],
- installierbare PV-Modulfläche [m²],
- durchschnittliche Stärke der Rekultivierungsschicht [m].

Die Ermittlung der Flächengrößen von nutzbarer Brutto- und Nettofläche sowie der installierbaren PV-Modulfläche wurde in Kapitel 4 näher erläutert. Zusätzlich wurden im Zuge der Auswertung für alle Standorte die folgenden Größen rechnerisch ermittelt:

- verfügbare PV-Modulfläche in Bezug auf die nutzbare Bruttofläche [%],
- installierbare Leistung in Bezug auf die nutzbare Nettofläche [kWp/m²].

Die zusammengestellten Daten sind in Tabelle 24 aufgeführt.

Tab. 24: Nutzbare Flächen und Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht

Nr.	Fläche Deponie [m ²]	Für PVA geeignete Bruttofläche [m ²]	Für PVA geeignete Nettofläche [m ²]	PV-Modulfläche [m ²]	Ø Stärke Reku-schicht [m]	Anteil PV-Modulfläche von Bruttofläche [%]	kWp pro Nettofläche [kWp/m ²]
1	52.970	18.700	12.810	5.408	1,00	28,92	0,066
2	60.000	19.200	11.904	7.386	1,00	38,47	0,097
3	347.746	59.200	34.115	16.804	1,55	28,39	0,077
4	20.000	12.400	7.140	5.354	1,00	43,18	0,117
5	16.000	17.900	11.539	5.285	0,70	29,53	0,071
6	59.800	7.100	4.760	1.461	1,50	20,58	0,048
7	120.000	23.500	14.749	8.975	0,97	38,19	0,095
8	32.000	19.200	10.155	4.845	1,00	25,23	0,074
9	101.366	11.600	7.490	4.060	1,00	35,00	0,084
10	27.200	4.200	2.730	1.243	1,50	29,60	0,071
11	61.686	16.800	11.410	6.332	1,00	37,69	0,086
12	37.000	25.400	16.870	11.376	1,20	44,79	0,105
13	80.000	52.900	34.023	13.595	1,00	25,70	0,062
14	52.167	22.100	13.333	4.887	1,00	22,11	0,057
15	319.000	89.300	58.940	29.362	1,00	32,88	0,078
16	51.000	30.800	16.755	8.582	1,50	27,86	0,080
17	107.000	27.000	16.489	9.398	1,25	34,81	0,089
18	32.850	18.400	11.690	6.099	1,00	33,15	0,081
19	46.200	41.500	26.796	10.722	1,00	25,84	0,063
20	102.000	20.900	12.960	7.836	1,00	37,49	0,094
21	28.785	2.300	1.610	1.057	0,70	45,96	0,103
22	16.500	6.400	4.480	3.764	2,00	58,81	0,131
23	55.000	15.400	10.094	6.169	0,70	40,06	0,095
24	83.000	27.100	16.332	11.404	1,00	42,08	0,109
25	70.000	45.900	28.621	13.955	1,10	30,40	0,076
26	48.000	31.600	17.762	11.498	0,80	36,39	0,101
27	49.400	31.000	19.093	9.768	1,10	31,51	0,080
28	62.000	27.500	18.797	10.253	1,00	37,28	0,085
29	67.450	4.500	1.582	631	1,50	14,02	0,062
30	19.500	12.400	8.484	3.231	1,00	26,06	0,059
31	170.000	79.000	49.910	24.606	0,65	31,15	0,077
32	90.000	35.100	21.605	14.303	1,00	40,75	0,103
33	72.400	22.100	14.910	7.681	1,25	34,76	0,080
34	57.000	22.400	11.396	6.626	1,35	29,58	0,091
35	47.200	10.000	6.790	2.928	0,90	29,28	0,067
36	58.000	23.200	15.120	9.042	1,40	38,97	0,093
37	82.000	30.600	18.040	10.254	0,50	33,51	0,089
38	62.000	81.100	52.892	29.737	1,00	36,67	0,088
39	104.000	51.600	33.043	13.637	1,00	26,43	0,063
40	31.500	14.200	9.940	5.802	1,00	40,86	0,091

In Tabelle 25 sind die Minima, die Maxima und die Durchschnittswerte der aufgeführten Kriterien dargestellt:

Tab. 25: Minima, Maxima und Durchschnittswerte aus Tabelle 24

Nr.	Fläche Deponie [m ²]	Für PVA geeignete Bruttofläche [m ²]	Für PVA geeignete Nettofläche [m ²]	PV-Modulfläche [m ²]	Ø Stärke Rekuschicht [m]	Anteil PV-Modulfläche von Bruttofläche [%]	kWp pro Nettofläche [kWp/m ²]
Min.	16.000	2.300	1.582	631	0,5	27,43	0,062
Max	347.746	89.300	58.940	29.737	2,0	33,30	0,079
Ø	74.993	27.788	17.429	9.143	1,1	32,87	0,082

Der Quotient von PV-Modulfläche zu Bruttofläche beschreibt den für eine PVA nutzbaren Flächenanteil nach Berücksichtigung der Abzugsflächen, wie beispielsweise Gasdomen oder nicht überbaubaren Wegen und sagt somit aus, wie effektiv eine prinzipiell geeignete Fläche genutzt werden kann. Im Mittel betrug der Quotient für alle untersuchten Deponien 27,43 %, das Maximum lag bei 33,30 %.

Mit der installierbaren PV-Modulfläche wird zusätzlich die an einer Fläche gegebene Hangneigung berücksichtigt, da sich über diese der Abstand der Modulreihen zueinander ergibt. Der Quotient von installierbarer PV-Modulfläche zur nutzbaren Bruttofläche gibt daher wieder, wie viel Prozent der Bruttofläche am Standort wirklich mit PV-Modulen belegt werden können. Im Durchschnitt ist dies etwa ein Drittel der jeweiligen Bruttofläche in der Horizontalprojektion.

Die an einer Fläche gegebene Hangneigung ist ebenfalls im Quotienten von installierbarer Leistung in Bezug auf die nutzbare Nettofläche berücksichtigt. Ein hoher Wert sagt somit aus, dass am jeweiligen Standort entweder ein hoher Anteil an Teilflächen Böschungsflächen sind oder aber die vorhandenen Böschungen verhältnismäßig steil sind.

Neben der für eine PVA nutzbaren Deponiefläche ist insbesondere die Mächtigkeit der vorhandenen Rekultivierungsschicht durch ihren maßgeblichen Einfluss auf die Möglichkeiten der Fundamentierung eine wichtige Größe für die Ausführbarkeit einer PVA. Ab einer Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht von ca. 1,3 m ist der Einsatz von Drehfundamenten bei entsprechenden Bodenverhältnissen i. d. R. gut machbar, die Mindestmächtigkeit für eine Rammfundamentierung liegt bei etwa 1,7 m (vgl. Kap. 2.1). In beiden Fällen sind am Standort immer Belastungsversuche erforderlich.

Abbildung 19 zeigt die prozentuale Verteilung der Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht aller 40 untersuchten Standorte. Dargestellt werden die Kategorien < 0,9 m, 0,9 – 1,3 m, 1,3 – 1,7 m und > 1,7 m.

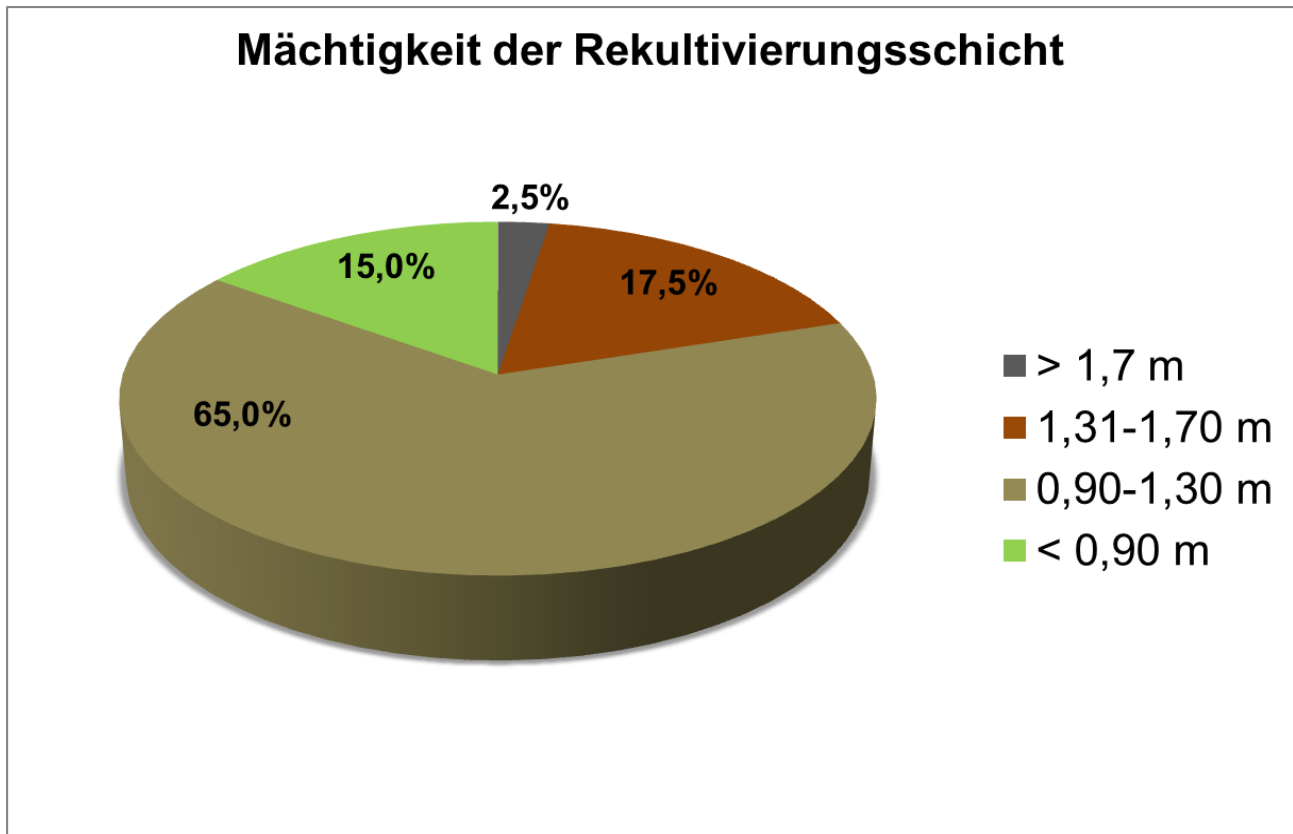


Abb. 19: Prozentuale Verteilung der Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht

Insgesamt liegt bei 80,0 % der betrachteten Standorte die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht in einem Bereich unter 1,3 m. Lediglich 17,5 % der Standorte weisen geeignete Bedingungen für eine Gründung mittels Drehfundamenten auf, nur ein Standort ist für eine Gründung mit Rammfundamenten geeignet.

7.2 Landschaftsplanerische Belange und Nebenkosten

Aus den 40 Machbarkeitsstudien wurden bezüglich der landschaftsplanerischen Belange folgende standortspezifischen Daten zusammengestellt:

- Kompensationsfaktor,
- Arten und Bioskope [Skalenwert],
- Landschaftsbild [Skalenwert],
- Schutzgebiet [ja/nein],

- Gesamtbewertung landschaftsplanerische Belange.

Bezüglich der Nebenkosten wurden ausgewertet:

- Nebenkosten ohne Pacht und Baugenehmigung (Planung, ggf. Rodung, ggf. Zaunerstellung, Vermessung)
- aus Netzanbindung resultierende Nebenkosten [€],
- aus landschaftsplanerischen Belangen resultierende Nebenkosten [€],
- Aussage zur Notwendigkeit einer Pachtzahlung für die genutzte Fläche [Ja/Nein],
- Gesamtnebenkosten je Standort [€].

Die Methodik zur Bewertung der landschaftsplanerischen Belange wird in Kapitel 5 beschrieben, ebenso die Berechnung der aus den landschaftsplanerischen Belangen resultierenden Nebenkosten. Erläuterungen zu den aufgeführten Nebenkosten finden sich in Kapitel 6.

Die Erfassung des Zustandes der Schutzgüter im Wirkungsbereich der geplanten Baumaßnahme erfolgte verbalargumentativ. Die Bewertung der Schwere des Eingriffs in diese Güter hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit erfolgte anhand folgender Skala:

Tab. 26: Skala zur Wertung der der landschaftsplanerischen Belange

Bezeichnung	Skala
gering	1
gering-mittel	2
mittel	3
mittel-hoch	4
hoch	5

Tab. 27: Wertung der landschaftsplanerischen Belange

Nr.	Kompensationsfaktor	Arten und Biotope [Skala]	Landschaftsbild [Skala]	Schutzgebiet [ja/nein]	Gesamtbewertung [Skala]
1	1,0-1,2	3	3	nein	2
2	0,1-0,2	4	2	nein	3
3	1,0-1,2	5	4	nein	4
4	0,1-0,2	2	3	ja	3
5	0,1-0,2	2	1	nein	1
6	0,1-0,2	1	1	nein	1
7	1,0-1,2	3	2	nein	2
8	1,0-1,2	4	1	nein	2
9	0,1-0,2	2	3	nein	3
10	0,1-0,2	1	4	ja	4
11	0,1-0,2	2	1	nein	1
12	0,1-0,2	3	4	ja	3
13	1,0-1,2	5	5	nein	5
14	0,1-0,2	2	1	nein	1
15	0,1-0,2	3	1	ja	2
16	0,1-0,2	5	4	ja	4
17	0,1-0,2	2	2	nein	2
18	0,1-0,2	4	5	ja	5
19	0,1-0,2	3	3	nein	2
20	0,1-0,2	1	3	nein	2
21	1,0-1,2	5	2	nein	3
22	0,1-0,2	5	2	nein	4
23	0,1-0,2	2	3	nein	3
24	1,0-1,2	5	5	nein	5
25	1,0-1,2	5	4	nein	5
26	0,1-0,2	2	1	nein	1
27	1,0-1,2	4	4	nein	4
28	0,1-0,2	2	1	nein	1
29	0,1-0,2	1	1	nein	1
30	0,1-0,2	2	5	ja	5
31	0,1-0,2	2	1	nein	1
32	0,1-0,2	5	5	ja	5
33	1,0-1,2	3	2	nein	2
34	0,1-0,2	3	2	ja	3
35	0,1-0,2	2	5	ja	5
36	0,1-0,2	1	1	ja	3
37	0,1-0,2	2	1	nein	1
38	0,1-0,2	2	1	nein	1
39	0,1-0,2	2	3	ja	3
40	0,1-0,2	2	1	ja	3

Abbildung 20 zeigt die prozentuale Verteilung der Gesamtbewertung in Bezug auf landschaftsplanerische Belange für alle 40 untersuchten Standorte. Dargestellt werden die fünf Kategorien gering, gering-mittel, mittel, mittel-hoch und hoch.

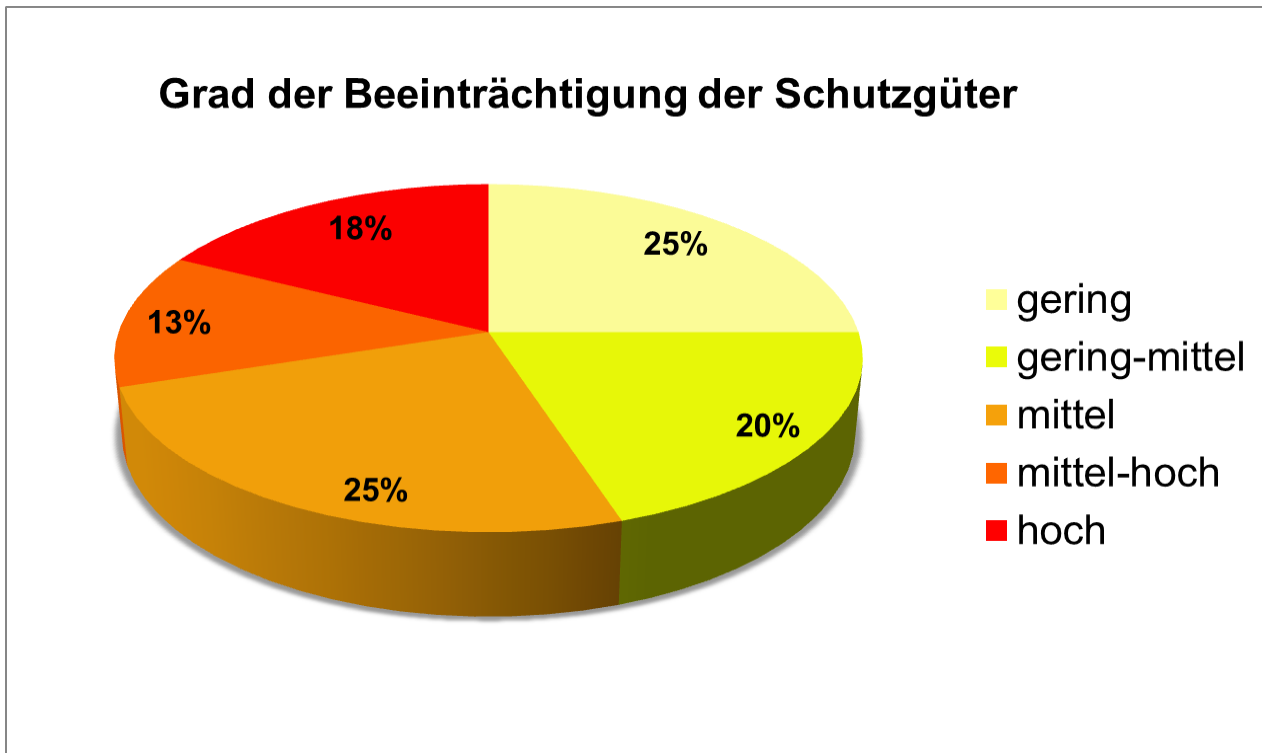


Abb. 20: Prozentuale Verteilung des Gesamtfazits der landschaftsplanerischen Belange

In der Gesamtbewertung wird für etwa ein Drittel aller untersuchten Standorte eine mittlere bis hohe bzw. hohe Beeinträchtigung der Schutzgüter prognostiziert.

Tab. 28: Nebenkosten, Kosten Netzanbindung und landschaftsplanerische Belange

Nr.	Nebenkosten ohne Pacht und Baugenehmigung [€]	Netzanbindung, Übergabestation Mittelspannung [€]	Pacht [ja/nein]	Landschaftspl. Belange [€]	Anteil landschaftspl. Belange an NK [%]	Anteil NK an Gesamtinvest. [%]
1	167.000	36.500	nein	24.684	14,78	15,20
2	176.000	54.500	ja	14.976	8,51	12,15
3	439.000	75.000	ja	215.192	49,02	13,16
4	262.000	150.000	nein	9.672	3,69	22,11
5	194.000	55.000	nein	10.740	5,54	17,56
6	161.000	55.750	ja	4.260	2,65	37,97
7	213.000	59.000	nein	31.020	14,56	12,10
8	196.000	40.000	nein	25.344	12,93	19,01
9	141.000	30.000	nein	9.048	6,42	16,77
10	228.000	100.000	nein	8.127	3,56	51,58
11	149.000	35.500	nein	10.080	6,77	12,02
12	241.000	100.000	nein	19.812	8,22	10,94
13	545.000	57.500	ja	309.994	56,88	18,87
14	146.000	30.300	nein	13.270	9,09	14,76
15	296.000	50.000	nein	59.831	20,21	5,53
16	280.000	57.000	nein	111.958	39,99	15,92
17	223.000	59.500	nein	18.090	8,11	12,10
18	196.000	25.000	nein	67.344	34,36	15,72
19	223.000	75.000	nein	27.805	12,47	10,77
20	184.000	60.000	ja	14.003	7,61	11,99
21	140.000	35.000	nein	4.439	3,17	43,48
22	165.000	32.000	nein	12.384	7,51	20,27
23	176.000	55.000	ja	12.012	6,83	14,21
24	342.000	62.500	nein	158.806	46,43	14,82
25	808.000	350.000	nein	268.974	33,29	25,14
26	229.000	52.500	nein	18.960	8,28	10,36
27	284.000	56.500	nein	112.685	39,68	14,43
28	198.000	65.000	ja	16.500	8,33	10,08
29	134.000	31.000	nein	2.700	2,01	55,14
30	243.000	75.000	nein	45.384	18,68	30,38
31	341.000	75.000	ja	47.400	13,90	7,44
32	386.000	100.000	nein	128.466	33,28	13,53
33	194.000	57.500	nein	29.172	15,04	12,78
34	182.000	57.500	nein	17.472	9,60	13,75
35	177.000	25.000	ja	36.600	20,68	25,95
36	185.000	54.500	nein	18.096	9,78	10,61
37	199.000	63.600	nein	18.360	9,23	10,12
38	750.000	450.000	nein	48.660	6,49	12,76
39	245.000	59.000	nein	40.248	16,43	9,44
40	140.000	26.000	nein	11.076	7,91	12,28

In Tabelle 29 sind die Minima, die Maxima und die Durchschnittswerte der aufgeführten Kriterien dargestellt:

Tab. 29: Minima, Maxima und Durchschnittswerte aus Tabelle 28

Nr.	Nebenkosten ohne Pacht und Baugenehmigung [€]	Netzanbindung, Übergabestation Mittelspannung [€]	Pacht [ja/nein]	Landschaftspl. Belange [€]	Anteil landschaftspl. Belange an NK [%]	Anteil NK an Gesamtinvest. [%]
Min.	134.000	25.000	-	2.700	2,01	5,53
Max	808.000	450.000	-	309.994	56,88	55,14
Ø	254.450	74.704	-	51.341	16,05	17,83

Der Anteil der landschaftsplanerischen Belange an den Nebenkosten ist standortabhängig und liegt zwischen 2,01 % und 56,88 %. Der minimale Anteil der Nebenkosten an den Gesamtinvestitionskosten beträgt 5,53 %, das Maximum beträgt 55,14 %.

In Tabelle 28 und Abbildung 21 sind die Nebenkosten ohne Pacht und Baugenehmigung, die Kosten der Netzanbindung und die Kosten der landschaftsplanerischen Belange in € dargestellt. Hohe Nebenkosten treten bei Deponien auf, bei denen die landschaftsplanerischen Belange eine große Rolle spielen, was sich auch in den Kosten hierfür niederschlägt. Bei zwei Anlagen sind die Netzeinspeisepunkte sehr weit entfernt, so dass hohe Kosten für den Bau der Leitung vom PV-Trafo zur Übergabestation entstehen.

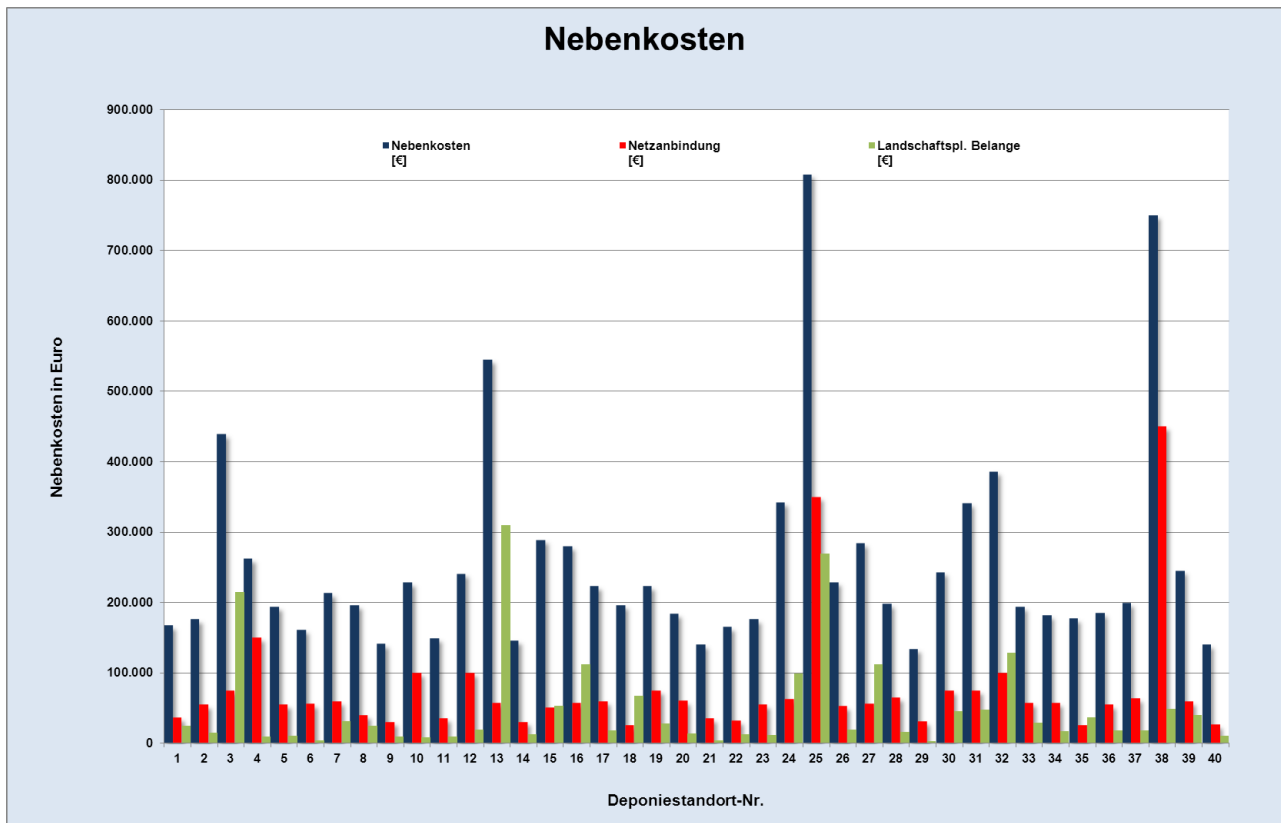


Abb. 21: Nebenkosten, Kosten Netzanbindung und landschaftsplanerische Belange

Der Kostenanteil für die Netzanbindung der PVA an den Nebenkosten ohne Pacht und Baugenehmigung beträgt durchschnittlich 27,43 % bei minimal ca. 10,55 % und maximal 60,00 %.

Der Kostenanteil für landschaftsplanerische Belange an den Gesamtnebenkosten beträgt im Mittel rund 16,05 %. Das Minimum liegt bei ca. 2,01 %, der maximale Anteil beträgt 56,88 %.

7.3 Installierbare Leistung, absoluter Ertrag und Wirtschaftlichkeit

Aus den 40 Machbarkeitsstudien wurden folgende standortspezifischen Daten zusammengestellt:

- installierbare Leistung [kWp],
- absoluter Ertrag [MWh/a],
- Gesamtinvestitionssumme incl. Nebenkosten und Baugenehmigung [€],
- äquivalenter Bankzins für eine Finanzanlage mit gleichem Ertrag nach 20 Jahren [%] ohne staatliche Förderung,
- Höhe der Förderung in €,
- äquivalenter Bankzins für eine Finanzanlage mit gleichem Ertrag nach 20 Jahren [%], bei den zur Grunde gelegten Investitionen ist eine Förderung von 200 €/kWp (Obergrenze je Standort 200.000 €) eingerechnet.

Die angewandte Methodik zur Ermittlung von installierbarer Leistung und absolutem Ertrag am Standort ist im Kapitel 4.5 dargelegt. Erläuterungen zu den Parametern zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit finden sich in Kapitel 6.

Tab. 30: Installierbare Leistung, absoluter Ertrag und Wirtschaftlichkeit

Nr.	installierbare Leistung [kWp]	absoluter Ertrag [MWh/a]	Investition [€]	äquiv. Bankzins ohne Förderung [%]	Förderung [€]	äquiv. Bankzins mit Förderung [%]
1	842	808	1.099.000	4,88	168.000	6,95
2	1.150	938	1.449.000	2,81	200.000	4,49
3	2.618	2.525	3.335.000	4,83	200.000	5,58
4	834	689	1.185.000	2,05	167.000	3,70
5	824	832	1.105.000	5,21	165.000	7,25
6	228	211	424.000	1,34	48.000	1,95
7	1.399	1.309	1.760.000	4,98	200.000	6,47
8	754	730	1.031.000	4,43	151.000	6,36
9	632	581	841.000	4,08	126.000	6,04
10	194	171	442.000	0,02	39.000	0,48
11	986	905	1.240.000	4,72	197.000	6,86
12	1.772	1.545	2.202.000	4,20	200.000	5,33
13	2.118	1.924	2.888.000	3,27	200.000	4,09
14	761	746	989.000	5,21	152.000	7,33
15	4.574	4.116	5.357.000	5,32	200.000	5,78
16	1.337	1.260	1.759.000	4,54	200.000	6,00
17	1.464	1.219	1.843.000	3,45	200.000	4,78
18	951	803	1.247.000	3,18	190.000	5,09
19	1.670	1.553	2.071.000	5,06	200.000	6,32
20	1.221	1.103	1.535.000	4,12	200.000	5,79
21	165	132	322.000	0,25	33.000	0,79
22	586	493	814.000	2,51	117.000	4,25
23	961	827	1.239.000	3,22	192.000	5,18
24	1.777	1.789	2.308.000	5,57	200.000	6,71
25	2.173	2.106	3.214.000	3,55	200.000	4,29
26	1.791	1.579	2.211.000	4,42	200.000	5,56
27	1.522	1.491	1.968.000	5,26	200.000	6,60
28	1.597	1.402	1.965.000	3,99	200.000	5,26
29	98	91	243.000	-0,12	20.000	0,30
30	503	439	800.000	1,77	101.000	2,95
31	3.833	3.503	4.582.000	4,87	200.000	5,40
32	2.228	1.938	2.852.000	3,83	200.000	4,67
33	1.197	1.253	1.518.000	6,40	200.000	8,28
34	1.031	906	1.324.000	3,92	200.000	5,87
35	456	415	682.000	2,30	91.000	3,88
36	1.409	1.355	1.744.000	5,55	200.000	7,10
37	1.598	1.311	1.966.000	3,52	200.000	4,76
38	4.633	4.013	5.876.000	3,88	200.000	4,28
39	2.124	1.926	2.596.000	4,91	200.000	5,89
40	904	772	1.140.000	3,75	181.000	5,80

In Tabelle 31 sind die Minima, die Maxima und die Durchschnittswerte der aufgeführten Kriterien dargestellt:

Tab. 31: Minima, Maxima und Durchschnittswerte aus Tabelle 30

Nr.	installierbare Leistung [kWp]	absoluter Ertrag [MWh/a]	Investition [€]	äquiv. Bankzins ohne Förderung [%]	Förderung [€]	äquiv. Bankzins mit Förderung [%]
Min.	98	91	243.000	-0,12	20.000	0,30
Max	4.633	4.116	5.876.000	6,40	200.000	8,28
Ø	1.423	1.272	1.829.000	3,78	168.500	5,11

Abbildung 22 zeigt für die Gesamtheit aller untersuchten Standorte den mit der jeweiligen PVA in 20 Jahren erzielbaren Gewinn und den zugehörigen äquivalenten Bankzins für eine Finanzanlage mit gleichem Ertrag nach 20 Jahren.

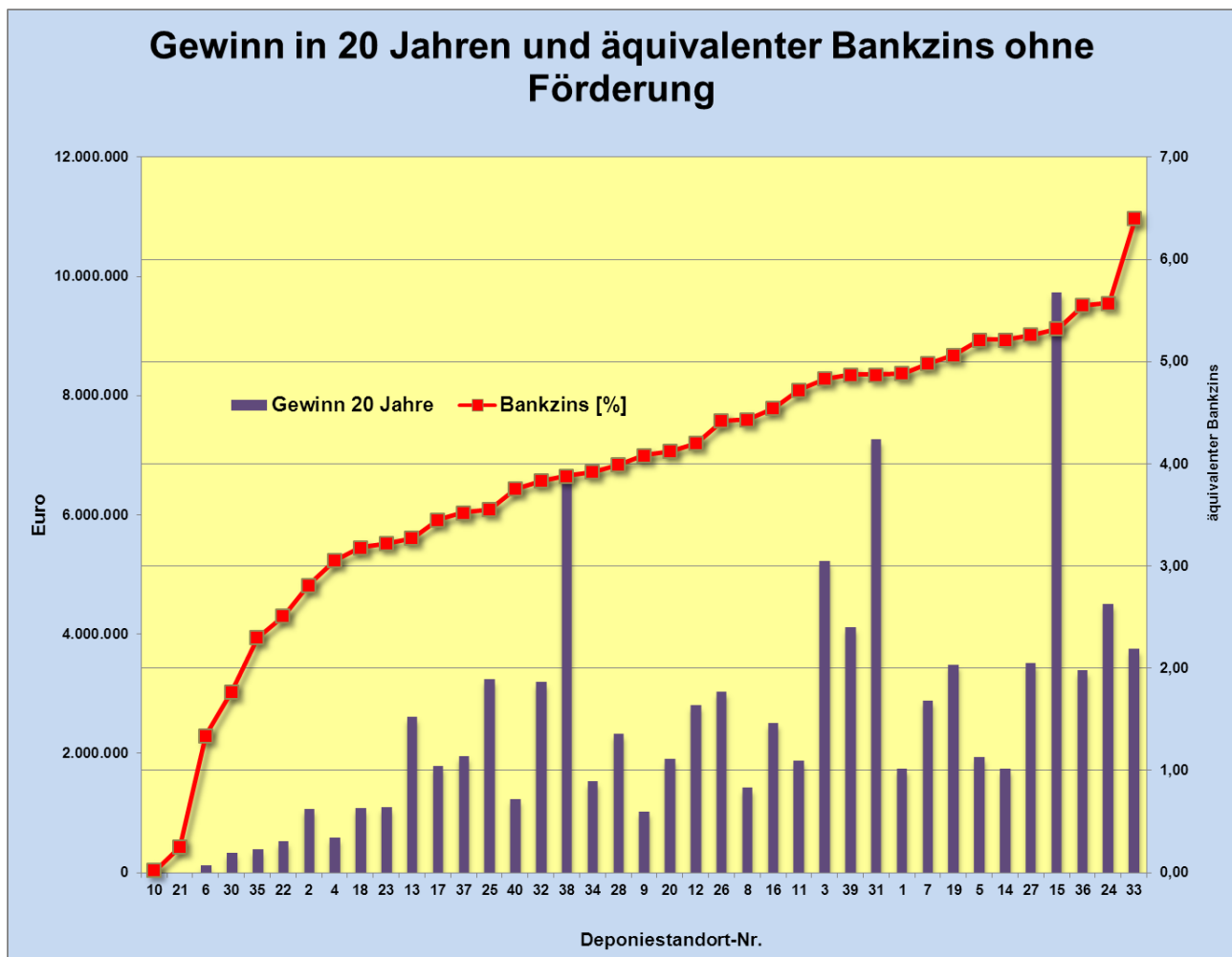


Abb. 22: Gewinn in 20 Jahren und äquivalenter Bankzins ohne staatliche Förderung

Aus Abbildung 23 wird ersichtlich, dass die Wirtschaftlichkeit einer Anlage nicht zwingend mit deren Größe korreliert. Wesentliche Gründe hierfür sind die Nebenkosten am Standort und der standortspezifische Ertrag.

Mit einer staatlichen Förderung verbessern sich die äquivalenten Bankzinsen je nach Größe der Anlage, da die maximale Förderung 200.000 € beträgt.

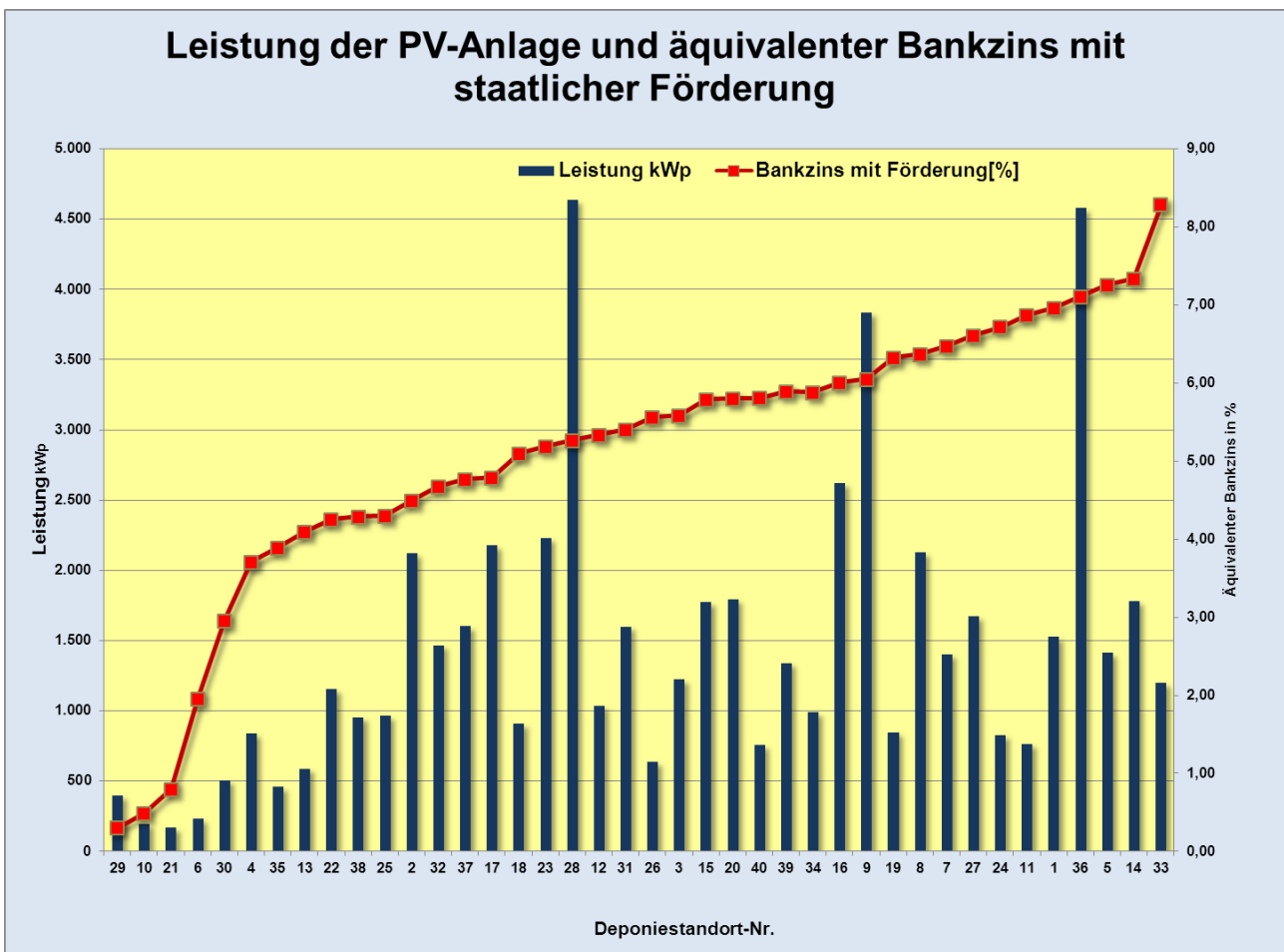


Abb. 23: Leistung der PVA und äquivalenter Bankzins mit staatlicher Förderung

In Abbildung 24 sind die äquivalenten Bankzinsen mit und ohne staatliche Förderung dargestellt. Die Anlagen wurden dabei zunächst nach aufsteigendem Bankzins ohne staatliche Förderung angeordnet. Dann wurde der jeweiligen Deponie der Bankzins mit staatlicher Förderung beige stellt. Die äquivalenten Zinsen steigen nicht proportional an, da die Höhe der staatlichen Förderung pro Deponie auf 200.000 € begrenzt ist. Anlagen bis 1.000 kWp profitieren voll von dem Zuschuss. Bei Anlagen über 1.000 kWp fällt die Verbesserung des äquivalenten Zinssatzes niedriger aus.

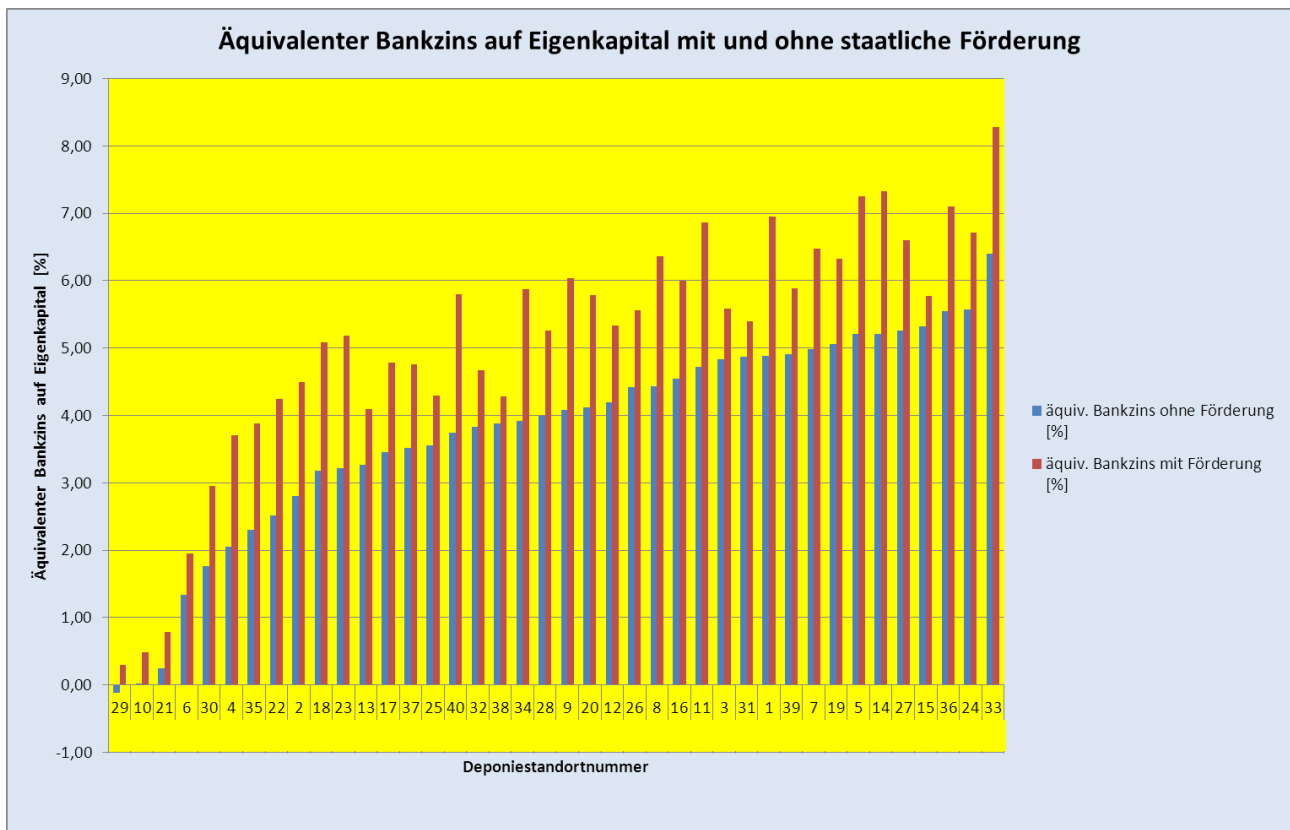


Abb. 24: Äquivalenter Bankzins mit und ohne Förderung

Abbildung 25 zeigt die Einteilung in Zinsklassen. Ohne staatliche Förderung weist eine der 40 betrachteten PVA einen negativen Zins auf. Bei 8 PVA wird ein äquivalenter Bankzins zwischen 0 und 3 % erreicht. Über die Hälfte der PVA auf den untersuchten Deponien (23) erzielen eine äquivalente Verzinsung zwischen 3 % und 5 %. Nur bei 8 Anlagen liegt der äquivalente Bankzins über 5 %.

Mit staatlicher Förderung ändert sich die Klassenzuteilung erheblich. Bei 5 PVA wird ein äquivalenter Bankzins zwischen 0 und 3 % erreicht. Nur noch 10 PVA auf den untersuchten Deponien erzielen eine äquivalente Verzinsung zwischen 3 % und 5 %. Bei 25 Anlagen liegt der äquivalente Bankzins mit staatlicher Förderung über 5 %.

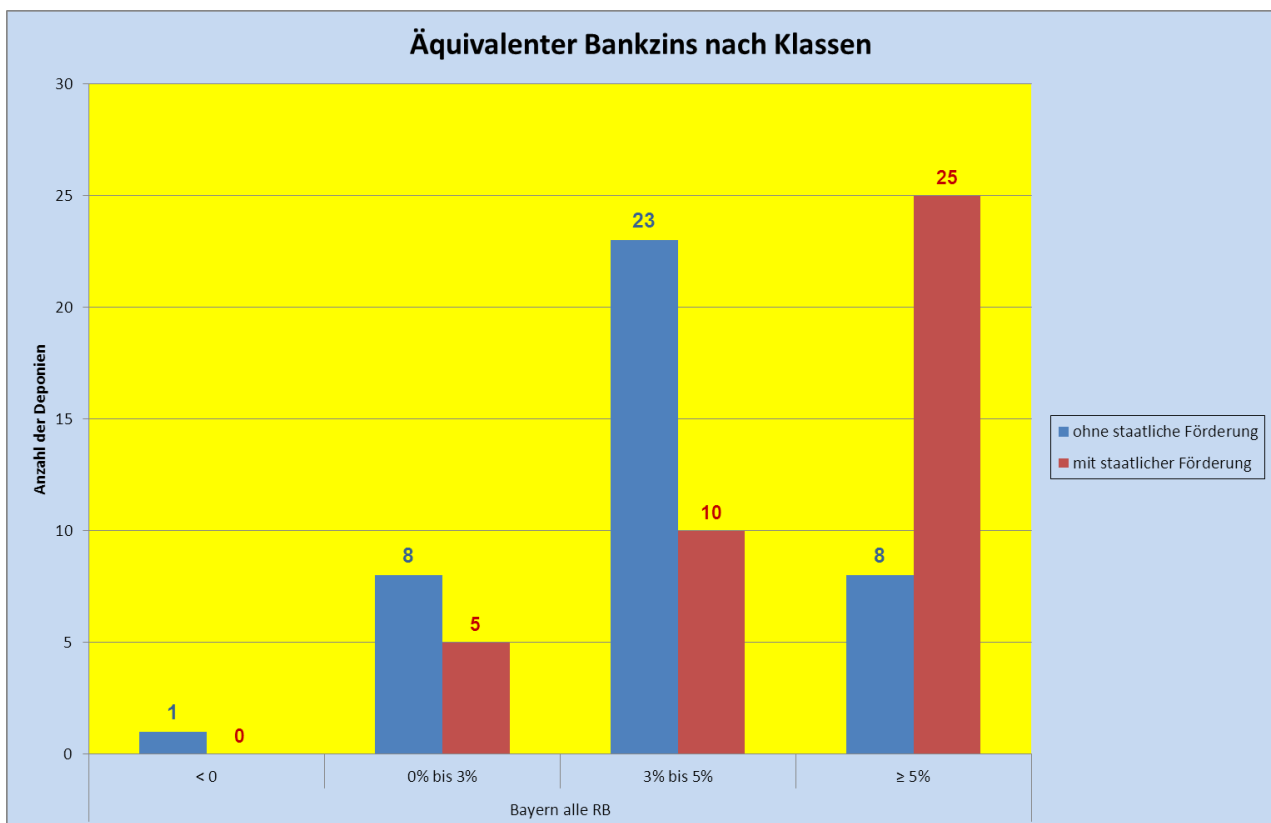


Abb. 25: Äquivalenter Bankzins nach Klassen

Abbildung 26 stellt für alle untersuchten Standorte die Investitionskosten sowie die Nebenkosten bezogen auf die Leistung der jeweiligen PVA dar. Zusätzlich sind für beide Parameter Trendlinien abgebildet.

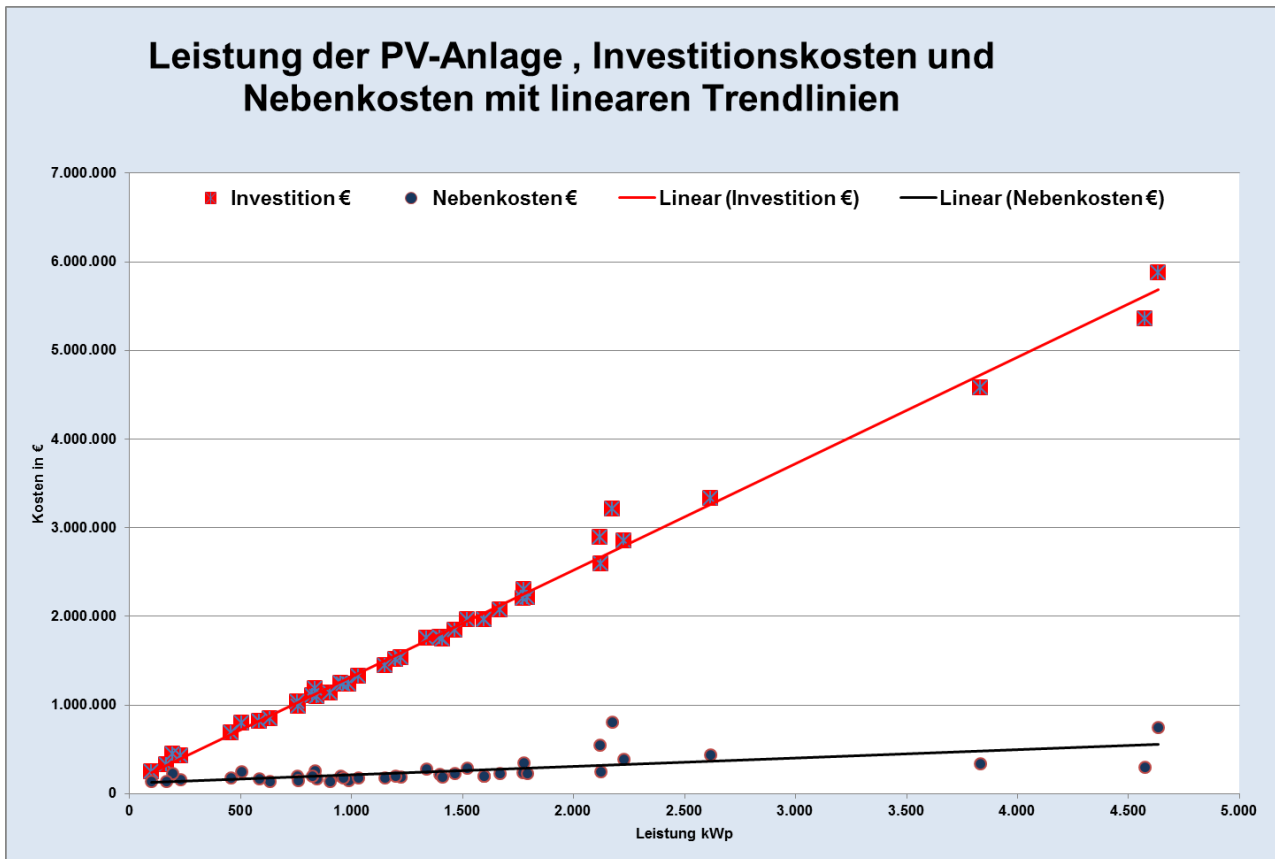


Abb. 26: Investition und Nebenkosten bezogen auf die Anlagenleistung (mit Trendlinien)

Abbildung 26 zeigt, dass die Nebenkosten für eine PVA nicht proportional mit der Investition respektive mit der Größe der Anlage steigen. Bei verhältnismäßig großen PVA fällt der prozentuale Anteil der Nebenkosten an der Gesamtinvestition also deutlich geringer aus als bei kleinen PVA.

Abbildung 27 stellt die Summenhäufigkeit der installierbaren Leistung für alle untersuchten Standorte dar.

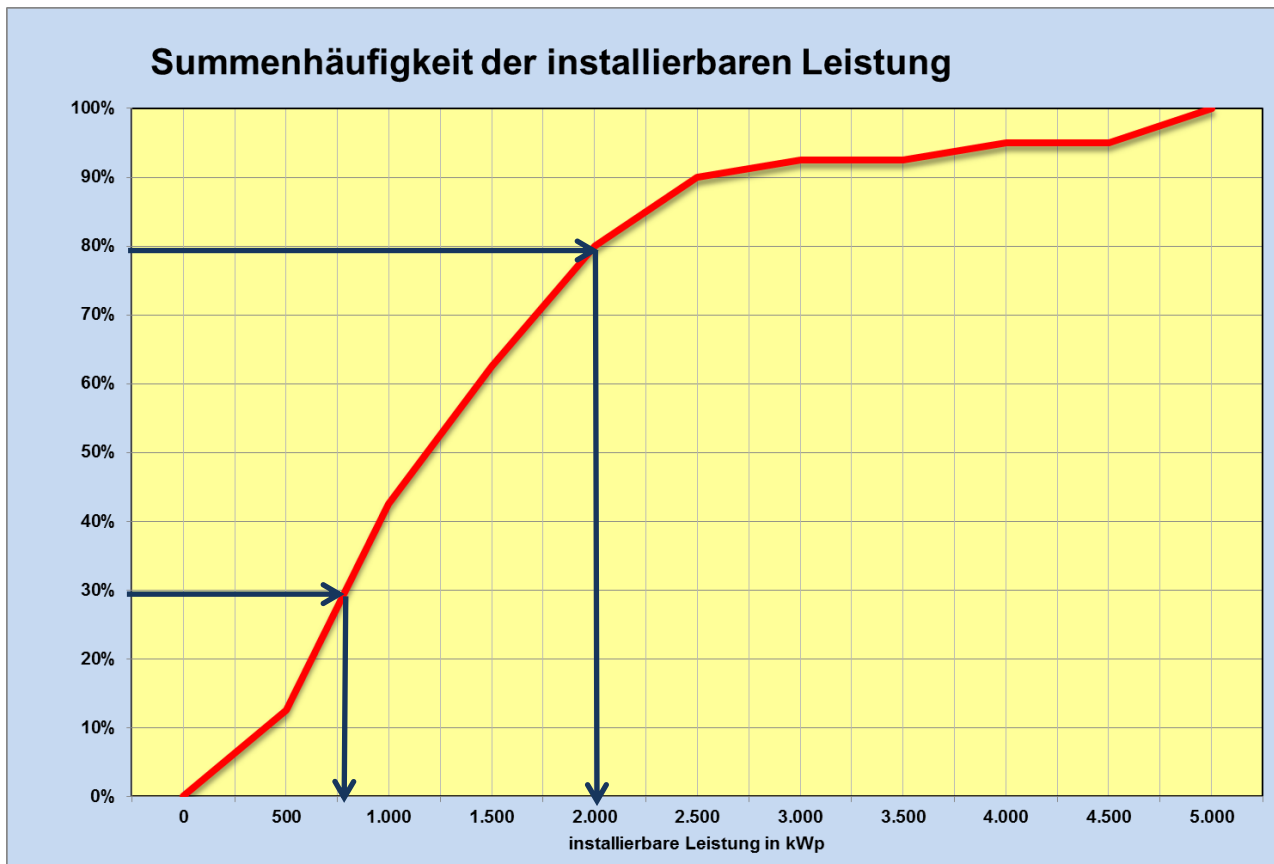


Abb. 27: Summenhäufigkeit der installierbaren Leistung

Entsprechend Abbildung 27 ist an 30 % der Standorte eine Leistung von bis zu 800 kWp installierbar. An 50 % der Standorte lässt sich eine Leistung zwischen 800 – 2.000 kWp installieren und an den restlichen 20 % liegt die installierbare Leistung über 2.000 kWp.

Abbildung 28 zeigt die Summenhäufigkeit des äquivalenten Bankzinses ohne staatliche Förderung für alle im Rahmen der Studie untersuchten Standorte.

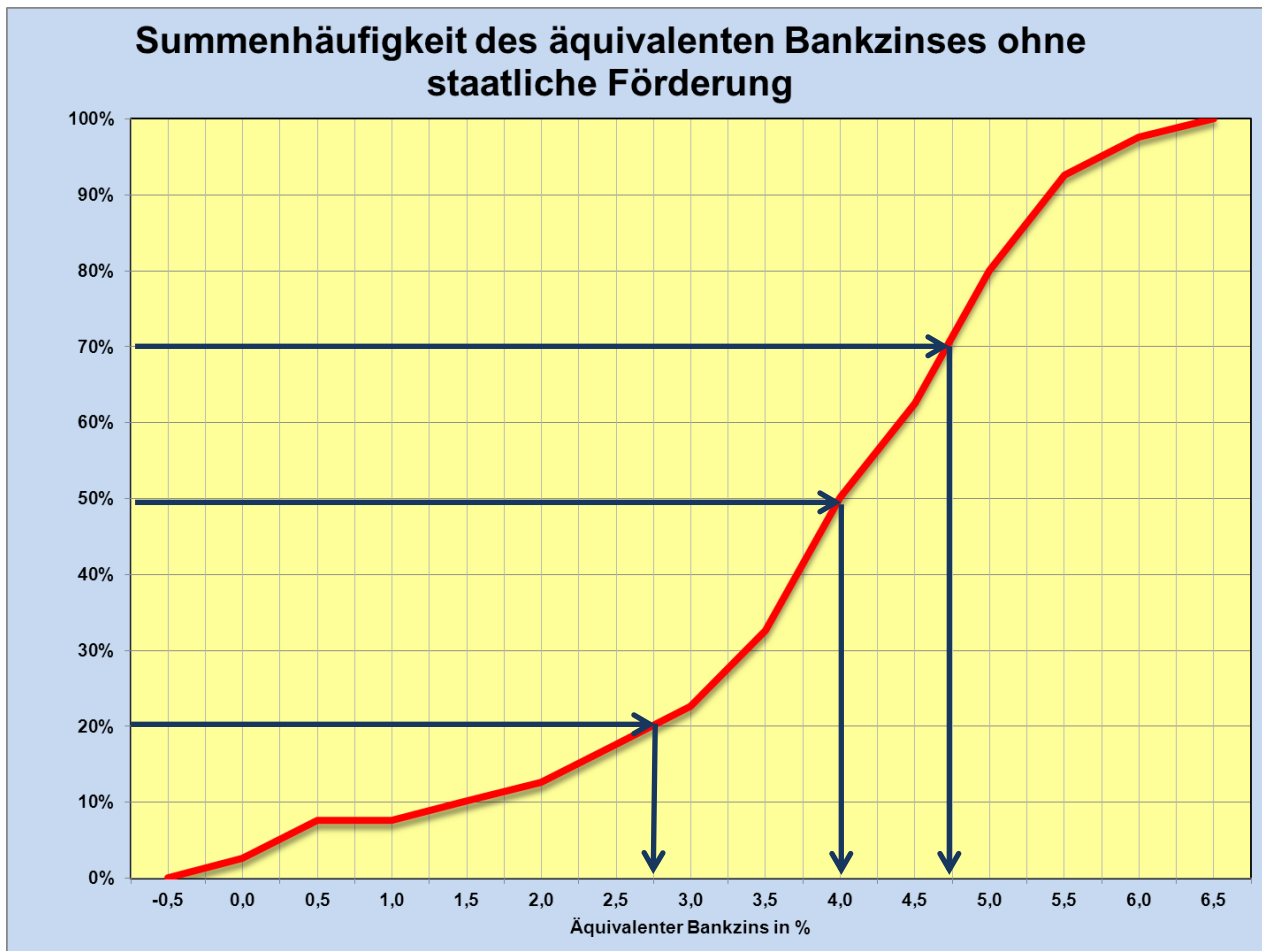


Abb. 28: Summenhäufigkeit des äquivalenten Bankzinses ohne staatliche Förderung

Für 20 % der betrachteten Standorte beträgt der äquivalente Bankzins nicht mehr als 2,75 %. Bei weiteren 30 % entspricht die Rendite über einen Zeitraum von 20 Jahren bei Realisation einer PVA einem äquivalenten Bankzins zwischen 2,75 – 4,00 %. Ein äquivalenter Bankzins von bis zu 4,75 % wurde für 70 % der Standorte berechnet, die restlichen 30 % liefern einen äquivalenten Bankzins oberhalb von 4,75 % (Maximum: 6,4 %).

Abbildung 29 zeigt die Summenhäufigkeit der Investitionskosten.

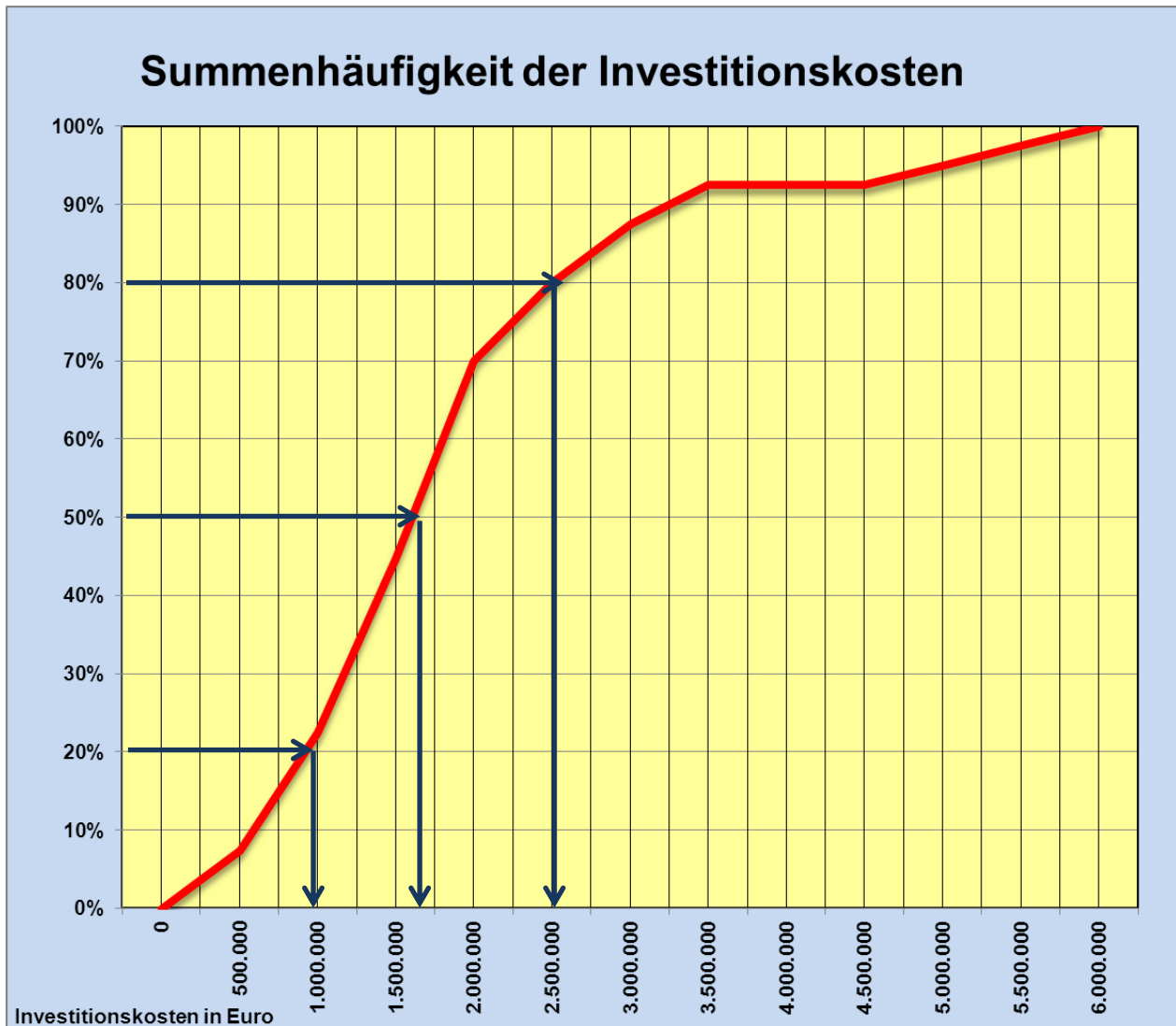


Abb. 29: Summenhäufigkeit der Investitionskosten

Für 20 % der betrachteten Standorte liegen die Investitionskosten unter 1 Mio. €. Bei weiteren 30 % betragen sie zwischen 1 Mio. - 1,65 Mio. €. Investitionen von bis zu 2,5 Mio. € wurde für insgesamt 80 % der Standorte berechnet, bei den restlichen 20 % liegen die Investitionen über 2,5 Mio. €.

Der Ertrag einer PVA ist von der Globalstrahlung und der Hangneigung abhängig. Geografisch im Süden gelegene Anlagen weisen einen besseren Ertrag auf.

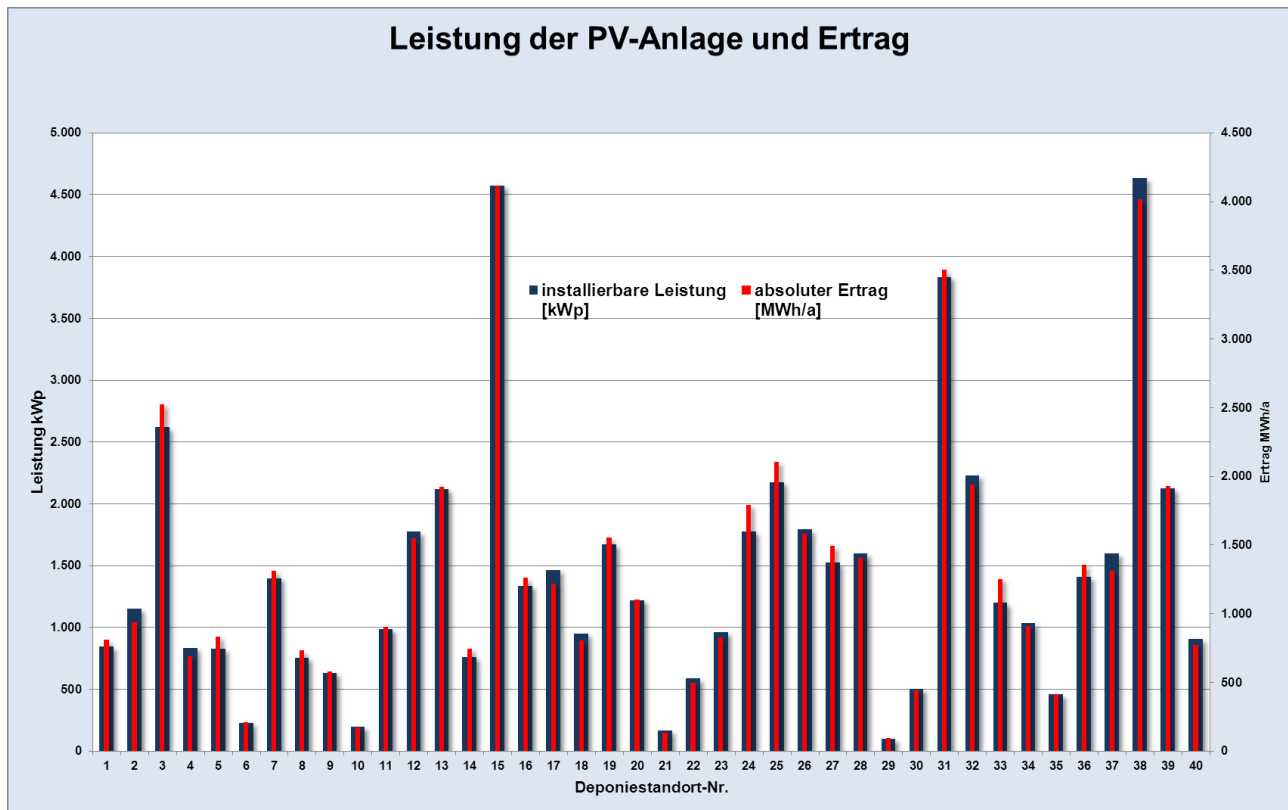


Abb. 30: Leistung der PVA in kWp und Ertrag in MWh/a

Unter Heranziehung von Daten des Bayerischen Landesamtes für Statistik⁷ ergibt sich ein Jahresstromverbrauch eines Durchschnittshaushalts von rechnerisch 3.409 kWh/a [7]. Mit einem gerundeten Ansatz von 3.500 kWh/a wurde berechnet, wie viele Durchschnittshaushalte jeweils von den einzelnen PVA versorgt werden könnten.

⁷ Mikrozensus für das Jahr 2010: Stromverbrauch Privathaushalte: 20.674 Mio. kWh, Anzahl Privathaushalte in Bayern: 6.065.000, durchschnittliche Haushaltsgröße: 2,08 (19.06.2012), <https://www.statistik.bayern.de/suche/index.php?q=stromverbrauch&x=2&y=9>. https://www.statistik.bayern.de/statistik/private_haushalte/

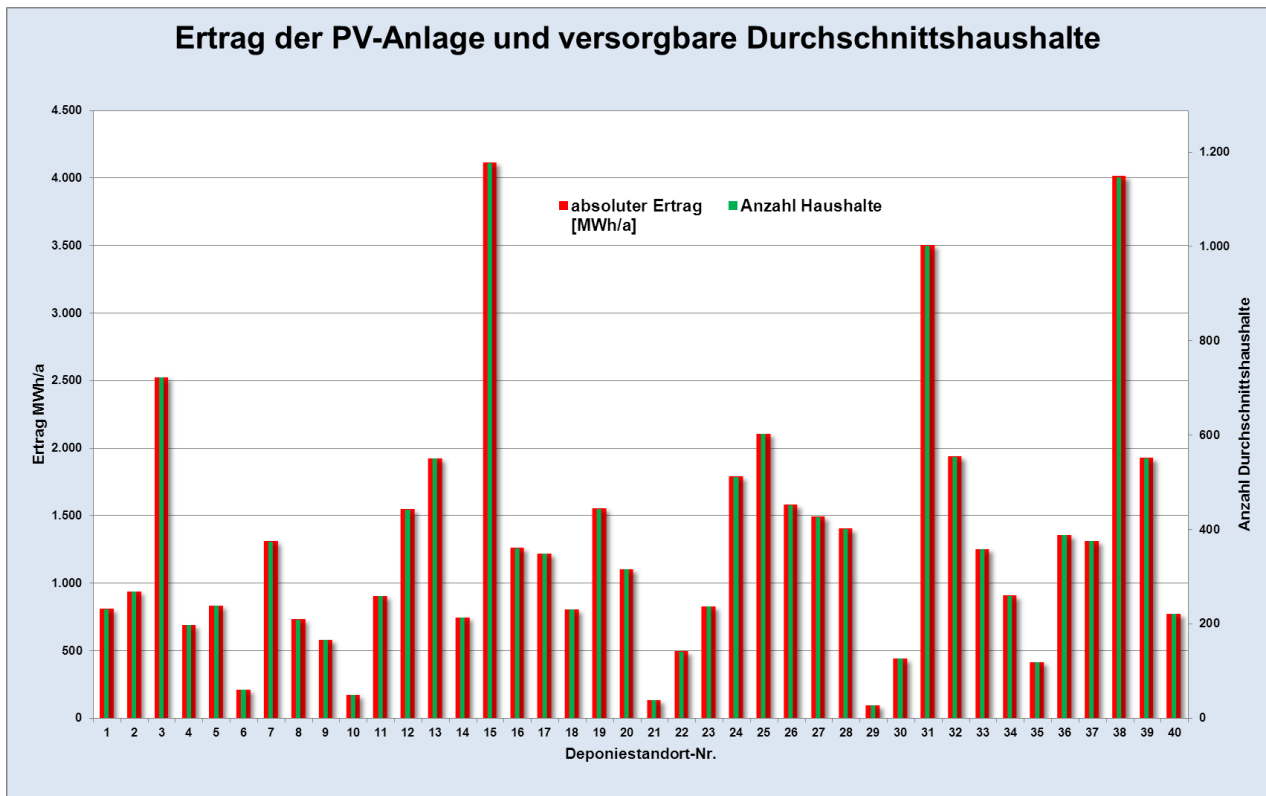


Abb. 31: Ertrag der PVA in MWh/a und Anzahl der versorgbaren Durchschnittshaushalte

Würden alle PVA realisiert werden, ergäben sich in der Summe 14.774 Durchschnittshaushalte, die mit Strom versorgt werden könnten. Bei einer durchschnittlichen Haushaltsgröße von 2,08 Personen gemäß Mikrozensus 2010 [7] sind dies 30.700 Personen.

8 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG

8.1 Ermittlung der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit

In den 40 Machbarkeitsstudien wurden jeweils die für den Bau einer PVA geeigneten Deponie-Teilflächen identifiziert. Nach Abschlägen für die Gegebenheiten vor Ort wurde die Netto-Belegungsfläche berechnet.

Unter Berücksichtigung der jeweiligen Hangneigung der einzelnen Teilflächen wurde die installierbare Leistung auf der Netto-Belegungsfläche ermittelt. Daraus ergab sich über die standortspezifische Globalstrahlung sowie den Azimutwinkel der Anlage der absolute jährliche Ertrag in MWh/a. Unter der Annahme eines Verbrauchs eines Durchschnittshaushaltes von 3.500 kWh/a wurde berechnet, für wie viele Haushalte die Leistung der jeweiligen PVA ausreicht.

In den einzelnen Machbarkeitsstudien wurde insbesondere auf die standortspezifische Fundamentierung näher eingegangen.

Bei einigen der untersuchten Standorte befindet sich ein Mittelspannungsanschluss bereits auf dem Deponiegelände, weil z. B. die Gasverstromungsanlage mittels BHKW in das Mittelspannungsnetz einspeist. In diesen Fällen wurde angenommen, dass auch eine PVA diesen Netzverknüpfungspunkt verwenden kann.

In allen anderen Fällen wurden zur Feststellung des möglichen Einspeisepunktes formlose Anfragen bei dem für den jeweiligen Standort zuständigen Netzbetreiber gestellt. In den überwiegenden Fällen haben die Netzbetreiber darauf verwiesen, dass eine Netzprüfung und eine sich daraus ergebende Zuweisung eines Netzverknüpfungspunktes in das Mittelspannungsnetz nur bei Vorlage eines formellen Antrags und anhand eines konkreten Bauvorhabens durchgeführt werden kann. Zudem ist die Aussage nur für ein halbes bis ein Jahr bindend. Meist ist diese Prüfung für den Auftraggeber kostenpflichtig, falls eine PVA anschließend doch nicht gebaut werden sollte.

Bei Standorten mit nicht klärbarer Einspeisemöglichkeit wurde die Entfernung zur nächstgelegenen Gemeinde bzw. Industrie- oder Gewerbegebiet zur Festlegung der Einspeiseentfernung und damit zur Ermittlung der Nebenkosten für die Netzanbindung verwendet.

Im Vergleich mit den gesamten Investitionskosten sind die Aufwendungen (Nebenkosten) für die Erstellung der Verbindung zum Einspeisepunkt bei den meisten untersuchten PVA als untergeordnet zu betrachten. Bei zwei Anlagen sind die Einspeisepunkte allerdings sehr weit entfernt, was dann auch zu entsprechend hohen Kosten führt.

Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten am Markt und der einer laufenden Änderung unterworfenen Einspeisevergütung wurde für jeden untersuchten Standort eine an diese Situation angepasste, grundsätzlich andere Wirtschaftlichkeitsberechnung als üblich durchgeführt, deren Ergebnis auch über die nächsten Jahre Bestand haben dürfte. Ziel der Berechnung ist eine Aussage darüber, was eine Anlage zu variablen Zeitpunkten der Inbetriebnahme kosten darf, um wirtschaftlich zu sein.

Am Beispiel der Inbetriebnahme der Anlage im Januar 2013 unter der Annahme von spezifischen Anlagen-Investitionskosten von netto 1.100 €/kWp wurde der Cashflow berechnet. Für die jeweiligen Anlagenleistungen wurden die Gesamt-Investitionskosten netto inkl. Nebenkosten und Baugenehmigung berechnet. Es wurde dargestellt, in welchem Jahr der Gewinn diese Gesamtinvestitionen übersteigt. Der rechnerische Gewinn in 20 Jahren wurde in € berechnet, der äquivalente Bankzins in %. Dies erfolgte jeweils für zwei Varianten, mit und ohne staatliche Förderung.

8.2 Relevante Ergebnisse der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit

Insgesamt liegt bei 32 Deponien (80 % der betrachteten Standorte) die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht in einem Bereich unter 1,3 m. Lediglich 7 Standorte (17,5 %) weisen geeignete Bedingungen für eine Gründung mittels Drehfundamenten auf, nur ein Standort ist für eine Gründung mit Rammfundamenten geeignet.

An 12 Standorten ist eine Leistung von bis zu 800 kWp installierbar. An 20 Standorten lässt sich eine Leistung zwischen 800 – 2.000 kWp realisieren und an den restlichen 8 Standorten liegt die berechnete Leistung über 2.000 kWp.

Bei 8 der betrachteten Standorte liegen die Investitionskosten unter 1 Mio. €. Bei weiteren 12 Standorten betragen sie zwischen 1 Mio. - 1,65 Mio. €. Investitionen von bis zu 2,5 Mio. € wurden für insgesamt 32 Standorte berechnet, bei den restlichen 8 Standorten liegen die Investitionen über 2,5 Mio. €.

In der Gesamtbewertung der landschaftsplanerischen Belange wurde für etwa ein Drittel aller untersuchten Standorte eine mittlere bis hohe bzw. hohe Beeinträchtigung der Schutzgüter prognostiziert. Hohe Gesamtnebenkosten treten bei Deponien auf, bei denen die landschaftsplanerischen Belange eine große Rolle spielen.

Bei zwei Anlagen sind die Netzeinspeisepunkte sehr weit entfernt, so dass hohe Kosten für den Bau der Leitung vom PV-Trafo zur Übergabestation entstehen.

Die Nebenkosten für eine PVA steigen nicht proportional mit der Investition respektive mit der Größe der Anlage. Bei verhältnismäßig großen PVA fällt der prozentuale Anteil der Nebenkosten an der Gesamtinvestition also deutlich geringer aus als bei kleinen PVA.

Ohne staatliche Förderung weist eine der 40 betrachteten PVA einen negativen Zins auf. Bei 8 PVA wird ein äquivalenter Bankzins zwischen 0 und 3 % erreicht. Über die Hälfte der PVA auf den untersuchten Deponien (23) erzielen eine äquivalente Verzinsung zwischen 3 % und 5 %. Bei 8 Anlagen liegt der äquivalente Bankzins über 5 %.

Mit staatlicher Förderung ändert sich die Klassenzuteilung erheblich. Bei 5 PVA wird ein äquivalenter Bankzins zwischen 0 und 3 % erreicht. 10 PVA auf den untersuchten Deponien erzielen eine äquivalente Verzinsung zwischen 3 % und 5 %. Bei 25 Anlagen liegt der äquivalente Bankzins mit staatlicher Förderung über 5 %. Die äquivalenten Zinsen steigen nicht proportional an, da die Höhe der staatlichen Förderung pro Deponie auf 200.000 € begrenzt ist. Anlagen bis 1.000 kWp profitieren voll von dem Zuschuss. Bei Anlagen über 1.000 kWp fällt die Verbesserung des äquivalenten Zinssatzes niedriger aus.

8.3 Störwirkungen und Konfliktpotenziale

Es wurden je Machbarkeitsstudie die Störwirkungen bzw. Konfliktpotenziale am Standort aufgezeigt. Es wurde beschrieben, ob sich das Gelände der Deponie im Eigentum des Betreibers befindet und ob es durch einen Solarinvestor vorbelegt ist.

Hier ergab sich bei einem Standort ein sehr hohes Konfliktpotenzial, da sich der Grundstückseigentümer in Konkurs befindet.

Der Bewuchs auf den für eine PVA geeigneten Teilflächen wurde standortspezifisch eingeschätzt und zu rodende Flächen entsprechend erfasst. Eventuelle Verschattungseffekte durch Waldbewuchs wurden ebenso in der Flächenabgrenzung berücksichtigt.

Die Eingriffsintensität durch die geplanten PVA auf den einzelnen Deponiestandorten wurde bewertet und die daraus resultierenden Kosten für landschaftsplanerische Belange bei den Nebenkosten angesetzt. In der Gesamtbewertung wird für etwa ein Drittel aller untersuchten Standorte eine mittlere bis hohe bzw. hohe Beeinträchtigung der Schutzgüter prognostiziert.

Bei großflächigen PVA und nahegelegener Nachbarschaft (z. B. Wohngebiet östlich oder westlich der PVA) kann sich wegen langer Blendzeiten durch Reflexionen ein Konfliktpotenzial ergeben.

8.4 Mögliche Synergieeffekte

Es wurden auch durch den Bau einer PVA resultierende standortspezifische Synergieeffekte beurteilt. So könnte z. B. bei einer sich noch in Betrieb befindlichen Deponie das Betriebspersonal die Kontrolle der Anlage übernehmen. Die möglichen Einsparpotenziale sind selbstverständlich stark abhängig von den örtlichen Bedingungen und den personellen Strukturen. Sie können erst im Rahmen einer Detailplanung näher untersucht werden.

8.5 Empfehlung zur weiteren Vorgehensweise

Im Rahmen der wirtschaftlichen Bewertung wurde – unter Zugrundelegung eines spezifischen Anlageninvests von netto 1.100 €/kWp zzgl. Nebenkosten und Baugenehmigung und der Annahme von 100 % Eigenkapitalfinanzierung - der äquivalente Bankzins in % mit und ohne staatliche Förderung berechnet

Bautechnisch ergaben sich bei keiner der untersuchten Anlagen so große technische Schwierigkeiten, dass eine Realisierung auszuschließen wäre. Im Rahmen einer Detailplanung wird allerdings die Auswahl der geeigneten Fundamentierungstechnik von besonderer Bedeutung sein, da die z. T. geringmächtige Bodenabdeckung die Möglichkeit der Fundamentierungsart begrenzt. Alle untersuchten 40 Standorte sind grundsätzlich für eine PVA bautechnisch geeignet.

Entscheidend für eine wirtschaftliche Realisierung an jedem Standort wird sein, welche tatsächlichen Nebenkosten auftreten werden (z. B. Ankauf von Kompensationsflächen oder Ausgleichsabgaben an den Naturschutz, konkrete Netzprüfung mit Einspeisepunkt und Einspeisezusage durch den Netzbetreiber) und wie sich die Anlagenpreise im Hinblick auf weitere Vergütungsabsenkungen entwickeln werden.

Abschließend wurde in jedem Bericht ausgeführt, ob die Größe der Anlage und die Randbedingungen erwarten lassen, dass sich eine PVA wirtschaftlich darstellen lässt.

Es wurde je nach Sachlage empfohlen, das Vorhaben weiter zu verfolgen und in eine Detailplanung einzutreten. Erfahrungsgemäß ist für den kompletten Planungs-, Genehmigungs-, Ausschreibungs- und Vergabeprozess sowie die Bauausführung bis zur Inbetriebnahme ca. ein Jahr anzusetzen.

Für Photovoltaik-Anlagen auf Ackerflächen gibt es nach der Neuregelung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) keine Vergütung mehr. Freiflächenplaner in Deutschland müssen daher unter anderem auf Konversionsflächen ausweichen. Eine Konversionsfläche ist eine Fläche, deren

„ökologischer Wert infolge der ursprünglichen wirtschaftlichen oder militärischen Nutzung schwerwiegend beeinträchtigt ist“.

Die EEG-Clearingstelle hat mit ihrer Empfehlung 02/2010 [10] Hinweise zur Auslegung des Begriffs „Konversionsfläche aus wirtschaftlicher oder militärischer Nutzung“ gegeben. Wenn eine schwerwiegende Beeinträchtigung des ökologischen Werts nur für Teile der tatsächlich einer Nachnutzung zugeführten Fläche gegeben ist, ist gemäß [10, Ziffer 6] von einer Konversionsfläche auszugehen, wenn der überwiegende Teil der Fläche (d.h. mehr als 50% der Fläche) eine solche Beeinträchtigung aufweist.

Die Clearingstelle EEG rät Anlagen- und Netzbetreibern zur Klärung von Zweifelsfragen im Einzelfall einvernehmlich die Einleitung eines Votumsverfahrens oder eines Einigungsverfahren bei der Clearingstelle EEG zu beantragen, um gerichtliche Auseinandersetzungen zu vermeiden.

Zur Einschätzung der Blendwirkung durch Reflexionen an PV-Modulen wird insbesondere bei großflächigen PVA und nahegelegener Nachbarschaft (z. B. Wohngebiet) ein lichttechnisches Gutachten empfohlen. Damit können frühzeitig Maßnahmen gegen ggf. erhebliche Belästigungen durch die Blendwirkung getroffen werden.

8.6 Danksagung

Dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit wird gedankt für die finanzielle Förderung des Gesamtprojektes.

Besonderer Dank gilt der qualifizierten fachlichen Begleitung während des Projektverlaufes durch das Bayerische Landesamt für Umwelt und die Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern mbH.

Darüber hinaus wirkten die Deponiebetreiber bei der Datenerhebung in erheblichem Umfang mit.

Den beteiligten Büros wird für die fachliche Umsetzung der Machbarkeitsstudie gedankt.



Klinger und Partner
Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH

Friolzheimer Straße 3, 70499 Stuttgart
Telefon: 0711 693308-0
Telefax: 0711 693308-99
E-Mail: info@klinger-partner.de
Internet: <http://www.klinger-partner.de>

Aufgestellt:
Markus Gallmann, Dipl.-Ing. (FH)
Brigitte Loosen-Matuschek, Dipl.-Ing.

Unterauftragnehmer:
EGS-plan GmbH
Garten- und Landschaftsplanung Rainer Rübsamen, Freier Landschaftsarchitekt

Stuttgart, den 27.11.2012
AF-01758 hch/gal/loo/pap/ps/heck/rübsamen

ppa. Eckhard Haubrich
Projektleiter

Horst Klinger
Geschäftsführer

UNTERLAGENVERZEICHNIS

- [1] LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“: Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-4a: Technische Funktionsschichten – Photovoltaik auf Deponien, April 2012
(http://laga-online.de/servlet/is/26509/Bundeseinheitlicher_Qualitaetsstandard_7-4a_Techn_Funktionsschicht_Photovoltaik_19.12.2011.pdf?command=downloadContent&filename=Bundeseinheitlicher_Qualitaetsstandard_7-4a_Techn_Funktionsschicht_Photovoltaik_19.12.2011.pdf)

- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Deponie-Info 2 – Photovoltaikanlagen auf Deponien, August 2012, Augsburg
(http://www.lfu.bayern.de/abfall/merkblaetter_deponie_info/doc/deponie_infomerkblatt.pdf)

- [3] Erneuerbare-Energien-Gesetz, 2000: Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), zuletzt geändert durch das Erste Gesetz zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes vom 11. August 2010 (BGBl. I S. 1170)

- [4] Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) in der am 28.06.2012 vom Bundestag beschlossenen Fassung, beck-online.beck.de / EEG Novelle

- [5] BSW - Bundesverband Solarwirtschaft e.V.: Zusammenfassung der wichtigsten Änderungen der EEG-Solarstromförderung, März 2012, Berlin

- [6] Rundschreiben vom 19.11.2009 und 14.01.2011 zu Freiflächen-Photovoltaikanlagen, Bayerisches Staatsministerium des Innern:
(http://www.stmi.bayern.de/imperia/md/content/stmi/bauen/rechtundtechnikundbauplanung/_baurecht/rundschreiben/rs_freiflaechen_photovoltaik_2011.pdf)

- [7] Mikrozensus für das Jahr 2010
<https://www.statistik.bayern.de/suche/index.php?q=stromverbrauch&x=2&y=9>
https://www.statistik.bayern.de/statistik/private_haushalte/

- [8] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorschutz: Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen

- [9] Persönliche Mitteilung (LfU, Ref. 31) von PV Cycle für 2010
- [10] Clearingstelle EEG: Empfehlung 2010/2 vom 01.07.2010: http://www.clearingstelle-ee.de/files/2010-2_Empfehlung.pdf

BILDNACHWEISE

Abb. 1: eigenes Bildmaterial

Abb. 2: eigenes Bildmaterial

Abb. 3: eigenes Bildmaterial

Abb. 4: eigenes Bildmaterial

Abb. 5: eigenes Bildmaterial

Abb. 6: eigenes Bildmaterial

Abb. 7: <http://www.sma.de/produkte/zentral-wechselrichter/sunny-central-800mv-11-1000mv-11-1250mv-11.html>

Abb. 8: <http://www.sma.de/produkte/solar-wechselrichter-ohne-transformator/sunny-tripower-15000tl-20000tl-economic-excellence.html>

Abb. 9: aus Rauminformationssystem Bayern, bei Auftragsvergabe zur Verfügung gestellt durch das LfU