

**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN**

Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Quantitative Risiko- und Marktanalyse für ein Projekt im Bereich erneuerbare Energien

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Hon.-Prof. Dr. Wolfgang E. Katzenberger

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Katrin Susann Vos

0826213 (066 482)

Steckhovengasse 4/2

1130 Wien

Wien, im September 2015

Katrin Susann Vos



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters an Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im September 2015

Katrin Susann Vos

Danksagung

Für die hilfreiche und zielführende Unterstützung bei der Diplomarbeit möchte ich mich bei meinem Betreuer Hon.-Prof. Dr. Wolfgang E. Katzenberger und dem Solabolic-Gründer Dipl.-Ing. Ahmed Adel bedanken.

Prof. Dr. Katzenberger stand bei Fragen durchwegs mit überdurchschnittlich fundiertem, themenübergreifendem Wissen zur Seite und half Ungewissheiten schnell zu beseitigen.

Dipl.-Ing. Adel stand der Themenbehandlung trotz des unkonventionellen Charakters stets sehr positiv gegenüber und war jederzeit offen für ein produktives Treffen zur weiteren Erarbeitung der Daten.

Kurzfassung

In der Arbeit werden zwei Themen behandelt: risikobasiertes Projektmanagement für eine neuartige solarkonzentrierende Pilotanlage und das Marktpotential dieser Anwendung im Bereich Entsalzung und Prozesswärme im Mittleren Osten und Nordafrika. Als Heranführung an den ersten Themenpunkt werden eingangs die Grundlagen des Projekt- und Risikomanagements erarbeitet. Darauf folgt die kombinierte Betrachtung in Form von risikobasiertem Projektmanagement mit starkem Bezug auf erneuerbare Energieanlagen. Dem liegen Studien der International Energy Agency sowie der Europäischen Kommission über Risikomanagement in Projekten zu nachhaltiger Energieerzeugung zugrunde. Aber auch diverse im Fachgebiet etablierte Literatur zum Vorgehen bei den Risikomanagementprozessen sowie zur Akzeptanz stochastischen Projektmanagements wird herangezogen. Aufbauend auf den theoretischen Informationen wird anschließend das Pilotanlagenprojekt geplant und Risiken werden mit Hilfe des Programms @Risk entsprechend simuliert.

Im zweiten Abschnitt wird vorerst auf die vorliegenden wirtschaftlichen, politischen und natürlichen Bedingungen im Mittleren Osten und Nordafrika eingegangen. Aufgezeigt werden dabei die sehr positiven Sonneneinstrahlungsverhältnisse sowie die politische Motivation durch Anreize wie einen stimulierten Arbeitsmarkt und internationale Förderungen. Jedoch werden auch Hindernisse wie ein extrem niedriger Ölpreis, vergleichsweise schlecht ausgeprägte Subventionsstrukturen für erneuerbare Energien, hohe Risikozuschläge seitens der Kapitalgeber und ein mangelhafter Netzausbau angesprochen. Für den Bereich Entsalzung werden die Technologien Reverse Osmosis, Multi-Effect-Distillation und Multistage-Flash-Distillation sowie deren Kombinationsmöglichkeit mit solaren Energieanlagen erklärt. Ergänzend wird dabei auch auf die Konkurrenz durch andere erneuerbare Energieanlagen hingewiesen und der Vorteil von Solarthermie herausgearbeitet. Des Weiteren werden die natürlichen Voraussetzungen wie Kriterien zur Eignung der Landflächen für den Bau der Anlagen und politische wie wirtschaftliche und technologische Hemmnisse für die Technologien erläutert. Dem bereits bestehenden Markt, involvierten Firmen und Ergebnissen aus Erfahrungen mit Demonstrationsanlagen wird ebenfalls Beachtung geschenkt. Im Abschnitt Prozesswärme wird auf den Wettbewerb mit anderen erneuerbaren Energiekonzepten wie Biomasse, Geothermie und Wärmepumpen hingewiesen. Zudem werden weitere Solaranlagen beschrieben und ihre Konkurrenz in einer Marktübersicht aufgezeigt. Ebenso werden Messergebnisse diskutiert und Technologiehindernisse wie eine lange Amortisationszeit und ein geringer Erfahrungsschatz bei der Prozessintegration beschrieben.

Abstract

In this paper two topics are investigated: stochastic project management for a new version of a solar concentrating pilot plant and a market analysis for the concept's use in desalination and process heat applications in the Middle East and Northern Africa. First of all, the basics of project and risk management are discussed followed by a screening of stochastic project management with strong focus on renewable energy. Herefore, studies about risk management for sustainable energy projects conducted by the International Energy Agency and the European Commission are cited. But also manifold sophisticated literature on risk management processes as well as the acceptance of stochastic project management is taken into account. Based on this theoretical knowledge the pilot plant project is planned, including risks simulated by the software @Risk.

The second part starts with an elaboration on the economic, politic and natural conditions of the Middle East and Northern Africa. This shows exclusively good solar irradiance and a good amount of political motivation based on expectations of a flourishing labor market and attractive international monetary incentives. However, also negative issues like an extremely low oil price, comparably poor subsidy systems for renewables, high risk premiums charged by investors and poor grid coverage are mentioned. Concerning desalination technologies like reverse osmosis, multi-effect distillation and multistage flash distillation as well as their combination possibilities with renewable energy are discussed. Additionally the competition with other renewables and the advantages of solarthermal power is characterized. The existing market for that technology and its players is explained and results from demonstration plants are reviewed.

Focusing on process heat the competition among renewables like biomass, geothermal power and heat pumps as well as between solar power plants is explained. A market overview is given and the results obtained by measurements at demonstration plants are discussed. The topic is rounded up with an insight into barriers like long payback times and a poor knowledge base on industrial process integration.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Grundlegendes.....	4
2.1	Projektmanagement	4
2.1.1	Begriffsdefinition „Projekt“	4
2.1.2	Schritte des Projektmanagements	5
2.2	Risikomanagement.....	13
2.2.1	Begriffsdefinition „Risiko“	13
2.2.2	Schritte des Risikomanagements.....	14
2.3	Technisches Konzept	19
2.3.1	Anlagenprinzipien konzentrierender Solarthermie	19
2.3.2	Neuheit des Solabolic-Konzepts	21
3	Stochastisches Projektmanagement	23
3.1	Kombination des Projekt- und Risikomanagements	23
3.2	Risikomanagement für erneuerbare Energien	23
3.3	Beurteilung des Status-Quo	28
3.4	Kritik an stochastischen Methoden	29
3.5	Vorgehen bei stochastischem Projektmanagement.....	31
3.5.1	Aufstellen des Projektmodells	31
3.5.2	Risikoidentifikation	32
3.5.3	Risikoanalyse.....	34
3.5.4	Risikobewältigung	38
3.5.5	Risikoüberwachung.....	40
3.5.6	Risikocontrolling.....	46
3.6	Softwarelösung @Risk	46
3.7	Risikoanalyse für die Solabolic-Pilotanlage	48
3.7.1	Projektdefinition	48
3.7.2	Stakeholderanalyse	49
3.7.3	Projektstrukturplan.....	51
3.7.4	Ablaufs- und Terminplan.....	58
3.7.5	Ressourcenplan	61

3.7.6	Budgetplan.....	65
3.7.7	Risikoidentifikation	70
3.7.8	Risikoanalyse.....	75
3.7.9	Fazit.....	82
4	Marktanalyse für den Mittleren Osten und Nordafrika	85
4.1	Überblick über die Energiesituation.....	85
4.1.1	Fossile Ressourcen	85
4.1.2	Potential der Solarenergie	86
4.1.3	Änderung der Grundhaltung zu erneuerbaren Energien	88
4.1.4	Solarenergie im Energiemix.....	90
4.1.5	Hemmnisse	94
4.2	Solarkonzentrierende Entsalzung.....	96
4.2.1	Technologien für Entsalzungsanlagen.....	98
4.2.2	Natürliche Voraussetzungen	105
4.2.3	Marktcharakteristika.....	107
4.2.4	Ergebnisse aus Studien und Messungen.....	109
4.2.5	Hemmnisse für die Technologie.....	111
4.2.6	Marktprognose	112
4.3	Solare Prozesswärme	113
4.3.1	Technologien für Prozesswärmeanlagen.....	114
4.3.2	Marktcharakteristika.....	118
4.3.3	Ergebnisse aus Studien und Messungen.....	122
4.3.4	Hemmnisse für die Technologie.....	124
4.3.5	Marktprognose	125
5	Fazit	127
6	Anhang.....	130
7	Literaturverzeichnis	167
8	Abbildungsverzeichnis.....	173
9	Tabellenverzeichnis	176
10	Abkürzungsverzeichnis	177

1 Einleitung

Bei der Durchführung von Projekten kommt es gehäuft zu Problemen bzgl. wahrheitsgetreuer Kosten- und Zeitplanung. Ein Kernpunkt ist, dass Risiken nicht ausführlich genug identifiziert und nur überschlägig analysiert werden. Für die Allgemeinheit ist dies besonders bei öffentlichen Bauprojekten wahrnehmbar, die meist weit über ihre Kosten- und Zeitgrenzen hinausgehen. Aber auch im Bereich neuer technologischer Entwicklungen, wie erneuerbare Energieanlagen, sind realistische Abschätzungen meist schwer zu bewerkstelligen. Aufgrund der Neuheit liegt zu wenig gesicherte Information vor, die eine einigermaßen akkurate Kalkulation mit festen Werten zulässt. Als Gegenmaßnahme wurde stochastisches Projektmanagement entwickelt, das vermehrt in Unternehmen Einzug hält. Basisidee ist die Integration von stochastischen Methoden des Risikomanagements. Risiken werden demnach mit einer pessimistischen, optimistischen und realistischen Tragweite, d.h. Schadenshöhe, bewertet und mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung für diese Werte belegt. Auf Grundlage dieser Eingabewerte simuliert ein ausgewähltes Programm die insgesamt Tragweite der Risiken unter Angabe der entsprechenden Verteilungsfunktion. Dieses Verfahren soll anhand des Programms @Risk bei der Planung einer Pilotanlage für ein solarthermisches Parabolrinnenkonzept angewandt werden.

Anlässlich der Pilotanlage und dem damit verbundenen zeitnah geplanten Markteintritt des Technologieentwicklers Solabolic schließt sich dem Projektmanagementteil eine Marktanalyse an. Fokus ist die Region Mittlerer Osten und Nordafrika (MENA). Da sich dieser Markt grundlegend vom europäischen unterscheidet und die Technologie noch keinen etablierten Status genießt, wird zunächst die Region, deren Eignung sowie Einstellung zur Solarenergie beschrieben. Es wird auf zwei konkrete Anwendungskonzepte eingegangen: Entsalzung und Prozesswärme. Ausgangsbasis für die Auswahl ist der immer gravierendere Mangel an Süß- bzw. ausreichend entsalztem Wasser. Der Bedarf kann, besonders in der betrachteten Region, nicht mehr allein durch erschließbare Süßwasserquellen gedeckt werden. Daher wurden bisher fossilbetriebene Entsalzungsanlagen errichtet. Der Betrieb ist jedoch hochgradig energieaufwendig und aus Umweltsicht nicht nachhaltig. Solare Anlagen können hier einen guten Ersatz bieten, was im Zuge der Arbeit genauer erörtert werden soll. Die Berücksichtigung der Prozesswärme beruht auf der Tatsache, dass der Großteil industrieller Prozesse in MENA auf Wärme basiert. Um hierfür auf herkömmliche Energieträger verzichten und Kosten- sowie Emissionseinsparungen erzielen zu können, bietet sich wiederum die Solarenergie an. Das Potential konzentrierender Solaranlagen zu Zwecken der Prozesswärme wird daher für die MENA Region genauer beleuchtet.

2 Grundlegendes

2.1 Projektmanagement

2.1.1 Begriffsdefinition „Projekt“

Projektmanagement setzt sich mit den Grundaufgaben Planen, Organisieren, Führen und Steuern von Projekten auseinander. Der Kern des Unterschieds zu anderen Managementtätigkeiten liegt dabei in den Charakteristika von Projekten im Vergleich zu allgemein in Organisationen auftretenden Prozessen. Während Prozesse durch ihre Wiederholungen eine Art Alltagscharakter aufweisen, in ein einigermaßen stabiles System eingebettet sind, das möglichst Unsicherheiten ausschließt und auf Homogenität setzt, definiert sich ein Projekt im scharfen Kontrast dazu.¹

Für Projekte sind die Neuartigkeit, die eine gewisse Unsicherheit mit sich bringt, sowie eine zeitliche, budgetäre, personelle und organisatorisch-rechtliche Abgrenzung ausschlaggebend. Das bedeutet unter anderem, um den Kriterien eines Projekts zu entsprechen, muss das Vorhaben einen eindeutigen Startzeitpunkt sowie ein zu Anfang geplantes Enddatum besitzen. Zudem sollte es sich von den Standardtätigkeiten des Unternehmens durch eine separate Organisation in einem dafür zusammengestellten Team mit speziell definiertem Budget abheben. Hierbei sind Interdisziplinarität, eine personelle Zusammensetzung aus verschiedenen Fachbereichen und Qualifikationsrichtungen wichtig. Ein Projekt muss bedeutend, d.h. mit hoher Akzeptanz, wirtschaftlichem oder ressourcenspezifischem Nutzen o.ä. verbunden sein, während ziel- und ergebnisorientiert gearbeitet wird. Aber auch Dynamik und Komplexität sind für ein Projekt essentiell. Sie entstehen durch starke Interdependenzen zwischen verschiedenen Aufgabenbereichen und ggf. der Umwelt sowie einer allzeit präsenten Veränderungswahrscheinlichkeit der Arbeitsinhalte und Abhängigkeiten.^{2,3}

Zum genaueren Verständnis des Ausmaßes der Komplexität kann eine Zuteilung zu den Kategorien Objekt-, Handlungs- und Handlungsträgersystem erfolgen. Das Objektsystem bezieht sich hierbei auf das Produkt, das ggf. noch unzureichend genau definiert ist und dessen technische Abhängigkeiten der Komponenten ungewiss sind. Das Handlungssystem bezieht sich hingegen auf die Aufgabe selbst, deren Prozessorientierung sowie daraus resultierende Abhängigkeiten nicht komplett zu überschauen sind. Darüber hinaus könnten künftig anfallende Aufgaben unberücksichtigt bleiben oder unzureichend eingeschätzt werden. In Bezug auf das

¹ vgl. Patzak et al., 2009, S.24f.

² vgl. Patzak et al., 2009, S.20

³ vgl. Corsten, Gössinger, 2008, S.3

Handlungsträgersystem steht die Organisation im Vordergrund. Eine Komplexität entsteht hierbei daraus, dass die Zusammenarbeit der einzelnen Projektmitarbeiter nicht genau abgeschätzt werden kann und die informellen Beziehungen untereinander anfangs erst aufgebaut werden müssen.⁴

Ausgehend von diesen Charakteristika ist ersichtlich, dass Projekte einen erheblichen Zusatzaufwand zum täglichen Geschäft eines Unternehmens bedeuten. Warum Projekten heutzutage dennoch hohe Beliebtheit zugetragen wird, lässt sich gemäß eines Projektmanagementexperten in Bezug auf neue Produkte wie folgt erklären: Jedes produzierende Unternehmen wird mit kürzeren Produktlebenszyklen, stetig komplexer werdenden Produkten, knapperen Produkteinführungsintervallen und einem starken globalen Wettbewerb konfrontiert. Um diesen Herausforderungen standhalten zu können, ist es daher existenzbestimmend, auf einigermaßen frequenter Basis über das Alltagsgeschäft hinaus zu agieren und neue Möglichkeiten zu erschließen.⁵

Typischerweise beschreibt der Projektfortschritt über die Zeit einen S-Kurvenverlauf. Am Anfang steckt noch viel Aufwand in Planung und Diskussion, während zur Halbzeit der größte Fortschritt zu verzeichnen ist und am Projektende dafür gesorgt wird, dass alle Dokumente in Ordnung und Aufgaben sauber abgeschlossen sind. Je nach Projektart kann aber auch ein Kurvenverlauf annähernd der Form eines liegenden Hockeystocks beobachtet werden. Dies impliziert, dass sehr viel Vorarbeit geleistet werden muss, bis ein Punkt erreicht wird, ab dem der Fortschritt rapide ansteigt und ein rasches Projektende nach sich zieht.⁶

2.1.2 Schritte des Projektmanagements

2.1.2.1 Aufgaben und Phasen

Wie eingangs erwähnt, können die Aufgabenbereiche des Projektmanagements auf vier Kernbereiche reduziert werden: Planen, Organisieren, Führen und Steuern. Der Bereich Planung befasst sich dabei mit der Projektstrategie und -definition, d.h. die Projektziele werden abgesteckt und festgelegt, Umfeldbeziehungen und Risiken werden erfasst und Arbeitsaufträge formuliert. Hervorzuheben ist dabei, dass durch korrekte Planung eine bessere Strukturierung und Abschätzung der Aufgaben und Aufwendungen gesichert wird – nicht jedoch künftige Abweichungen ausgeschlossen werden können. Um trotzdem eine möglichst ganzheitliche, realistische Planung vornehmen zu können, werden die Zielgrößen Leistung, Ressourcen, Finanzmittel, Kosten, Qualität und Termine analysiert und weitestgehend integrativ betrachtet.

⁴ vgl. Patzak et al., 2009, S.221

⁵ vgl. Pinto, 2007, S.8

⁶ vgl. Mantel et al., 2001, S.6f.

Dabei kommt es auf das richtige Zusammenspiel an, das von dem sachlichen Umfeld wie auch den Stakeholdern beeinflusst wird und damit einer Risikoanalyse unterzogen werden sollte.^{7,8}

Bei der Projektorganisation handelt es sich im Gegensatz dazu eher um die weichen Faktoren wie u.a. die Gestaltung der Projektkultur, der Kommunikation im Team sowie dem Schnittstellen- und Informationsflussmanagement. Dazu gehören auch eine klare Rollendefinition und Verantwortungsverteilung. Die Bedeutung dieser Faktoren ist nicht zu unterschätzen. Gekonntes Handling von interpersonellen Schwierigkeiten, Meinungsunterschieden bzgl. des Vorgehens etc. kann darüber entscheiden, ob ein Projekt erfolgreich abgeschlossen wird oder scheitert.^{9,10}

Gute Projektführung zeichnet sich durch die strategische Wahl der Teammitglieder sowie auch Auflösungskompetenz, die Sicherstellung der Arbeitsbedingungen und der Entscheidungsfindung aus. Des Weiteren müssen das gemeinsame Projektziel für alle ersichtlich hervorgehoben, Veränderungen initiiert und die Kooperation sowie persönliche Entwicklung der Mitarbeiter vorangetrieben werden.¹¹

Das Steuern eines Projektes beinhaltet schließlich die Projektfortschrittsanalyse, bei der u.a. die zeitliche Entwicklung von Terminen, Qualität, Ressourcen sowie Finanzmitteln und Kosten erfasst und gesteuert werden. Wichtig dabei ist, besonders kritische Erfolgsfaktoren zu verfolgen und durch einen wirkungsvollen Maßnahmenplan sowie Korrekturmaßnahmen zu sichern.¹²

In Bezug auf den Projektverlauf ist es sinnvoll, eine Unterteilung in verschiedene Phasen vorzunehmen, da hierdurch dem Management die Planungs- und Kontrolltätigkeit mittels erhöhter Erfassbarkeit und Übersichtlichkeit erleichtert wird. Meilensteine oder Go/NoGo-Entscheidungen zeichnen hier u.a. das Ende einer Phase aus, führen zu Beurteilungsmöglichkeiten des Projektfortschritts und ermöglichen ggf. notwendige Vorgehensänderungen. Die Phasen können nach prozessorientierten wie auch inhaltlichen Aspekten bestimmt werden.¹³

Im Fokus der Prozessorientierung sind laut Patzak vier Phasen zielführend: die Projektstartphase, die Planungs- und Ausführungsphase, die Koordinations- und Änderungsphase und die Projektabschlussphase. In der Startphase kommt es hauptsächlich auf das Initiieren des Projektes an, d.h. das Schaffen der Grundbedingungen zur Einbindung der erforderlichen Systeme und der Projektauftragsabschluss. In der daran anschließenden Projektplanungs- und

⁷ vgl. Patzak et al., 2009, S. 217ff.

⁸ vgl. Patzak et al., 2009, S.25

⁹ vgl. ebenda

¹⁰ vgl. Mantel et al., 2001, S.27

¹¹ vgl. Patzak et al., 2009, S.25

¹² vgl. ebenda

¹³ vgl. Project Management Institut, 2008, S.18f.

Ausführungsphase befasst sich das Management mit der Aufbereitung aller notwendigen Dokumente sowie der genaueren inhaltlichen Ausarbeitung der Aufgabenbereiche u.a. mittels Aufgabenzerlegung und -verteilung. Ausführungsphasen können mehrfach in Projekten auftreten, wobei die Koordinations- bzw. Änderungsphase hier den Übergang zwischen den jeweiligen Ausführungen darstellt. D.h. die Ergebnisse einer Ausführungsphase werden kontrolliert und koordiniert, um den Input der folgenden Ausführungsphase darzustellen oder zuerst noch Änderungen vorzunehmen. Die Projektabschlussphase gilt schließlich dem Beenden aller Aufgaben und der Dokumentierung gemachter Erfahrungen. Diesen von Patzak genannten Phasen sollte jedoch, entsprechend dem logischen Vorgehen in der Praxis, die Projektentwicklungsphase vorangestellt werden. Hier werden erste Machbarkeits- und Wirtschaftlichkeitsstudien angestellt und das Projekt konzipiert.^{14,15}

Bei einer inhaltlichen Phasengliederung ist eine entsprechende Verallgemeinerung der Phasenbezeichnungen nicht möglich, da sie projektspezifisch sind. Zugrunde liegt hier der im Folgenden erläuterte Projektstrukturplan (PSP), bekannt auch als Work Breakdown Structure (WBS), sowie im weiteren Sinne auch der Objektstrukturplan (OSP), der die einzelnen Komponenten des zu erzeugenden Produkts aufschlüsselt.¹⁶

2.1.2.2 Inhalts- und Umfangsmanagement

Ausgangsbasis eines ganzheitlichen Inhalts- und Umfangsmanagements ist das gewissenhafte Zusammentragen von Informationen für einen Projektüberblick und das Stakeholderregister. Ersterer beinhaltet die genaue Beschreibung des Projekts. Hierfür werden die Hintergründe, wie der Grund für das Projekt, die wirtschaftlichen Vorteile, die daraus gezogen werden sollen, die Einbettung in die Unternehmensstrategie und der Zusammenhang zwischen dem Projektoutput und den Geschäftsbedürfnissen aufgenommen. Zudem sollten die Unternehmens- bzw. Kostenvorteile herauszulesen sein, die sich u.a. aus dem erzielten technologischen Fortschritt oder der Kundennachfrage ergeben. Beachtet werden sollten externe Einflüsse wie Marktbedingungen, staatliche oder industriespezifische Vorschriften oder die Unternehmensinfrastruktur. Aber auch historische Daten zu ähnlichen Projekten oder Dokumentationen von Standardprozessen im Unternehmen, die zutreffend sind, sollten zusammengetragen werden. Was das Stakeholderregister betrifft, so sollten hier alle Parteien erfasst werden, die auf das Projekt Einfluss nehmen oder von diesem betroffen sein könnten. Zu deren Identifizierung können der Projektüberblick, ggf. im Rahmen von Beschaffungsaktivitäten miteinbezogene

¹⁴ vgl. Patzak et al., 2009, S.28

¹⁵ vgl. Project Management Institut, 2008, S.42

¹⁶ vgl. Patzak et al., 2009, S. 222ff.

Parteien, aber auch Aspekte der Unternehmensstruktur und -kultur sowie wiederum aus früheren Projekten gesammelte Erfahrungswerte herangezogen werden. Im Anschluss sollte eine Stakeholderanalyse folgen, um deren jeweiligen Einfluss auf das Projekt eruieren und etwaige Maßnahmen ergreifen zu können.^{17,18}

Sind diese Grundinformationen gesammelt, so sollten die Projektanforderungen identifiziert werden. Hierfür können die Stakeholder in unterschiedlichen Formen von Gruppenarbeiten oder in Einzelinterviews nach ihren Einschätzungen befragt werden. Resultat sollte letztendlich eine Dokumentation aller erfassten Anforderungen, ein Managementplan hinsichtlich der Analyse, Dokumentation und Handhabung der Anforderungen im Projektverlauf sowie eine Matrix zur Rückverfolgung der Anforderungen auf deren Ursprung sein. Darauf aufbauend wird der genaue Umfang des Projekts bestimmt. D.h. es werden die zu erbringenden Projektleistungen beschrieben und die dafür aufzubringenden Arbeitsschritte benannt. Dies dient einerseits dazu, die folgende detaillierte Planung besser durchführen zu können, und andererseits, auch etwaige Nicht-Ziele an Stakeholder zu kommunizieren und Klarheit zu schaffen.¹⁹

Im darauf folgenden PSP werden die einzelnen Teilaufgaben des Projekts in übersichtliche, klar definierte Arbeitspakete je nach Strukturierungsstrategie, z.B. nach Phasen, Funktionen, Verantwortlichkeit oder auch Fachbereich, aufgeteilt. Diese bilden die kleinste Einheit der Projektstruktur und sollten mit eindeutig definierten Ergebnissen abschliessen. Dargestellt werden können diese Daten in Form eines Projektbaums oder einer codierten Vorgangsliste. Hinzu kommt, dass zu jedem Arbeitspaket ein Register bestehen sollte, das etwaige Schnittstellen, Kosten, Verantwortliche, Inhalte, Ziele, Nicht-Ziele, benötigte Daten, ggf. Hersteller und die Ergebnisse umfasst.^{20,21,22}

2.1.2.3 Ablauf- und Terminplan

Anhand weiterer Planungsschritte soll es möglich werden, die identifizierten Arbeitspakete zeitlich einordnen zu können. Hierfür bedarf es deren technologischer sowie zeitlicher Anordnung. D.h. die im PSP definierten Schritte müssen vorerst auf ihren Inhalt überprüft werden und ggf. weiter zerlegt werden. Dies soll garantieren, dass die daraus resultierenden Vorgänge ohne Unterbrechung durchgeführt und zeitlich definiert werden können sowie durch Ressourceneinsatz Kosten generieren. Sind die Vorgänge festgelegt, so gilt es sie in eine korrekte technologisch und zeitlich mögliche Reihenfolge zu bringen. Anschließend können sie logisch miteinander

¹⁷ vgl. Project Management Institut, 2008, S.75f.

¹⁸ vgl. Project Management Institut, 2008, S.247ff.

¹⁹ vgl. Project Management Institut, 2008, S.115

²⁰ vgl. Hill, 2010, S.89f.

²¹ vgl. Patzak et al., 2009, S. 222ff.

²² mündliche Quelle: Hon.-Prof. Dr. Katzenberger

verknüpft und eine Dauer sowie zeitliche Bedingungen wie ein Anfangsdatum zugewiesen werden.²³

Um die Arbeitspakete miteinander zu verknüpfen werden Beziehungen zwischen den aufeinander folgenden Paketen gesetzt. Je nachdem wann ein Arbeitspaket im Vergleich zu seinem Vorgänger starten oder enden soll, wird eine entsprechende Beziehung bestimmt. Die Ende-Anfang-Beziehung, gemäß Abbildung 1, bringt zum Ausdruck, dass ein Vorgang abgeschlossen sein muss, damit mit dem Folgevorgang begonnen werden kann, während bei einer Anfang-Anfang-Beziehung, gemäß Abbildung 2, Vorgänge zum gleichen Zeitpunkt starten. Im Gegensatz dazu steht die Ende-Ende-Beziehung, gemäß Abbildung 4, die vorgibt, dass die mit einander verknüpften Arbeitspakete gleichzeitig enden müssen. Die Anfang-Ende-Beziehung, gemäß Abbildung 3, wiederum besagt, im Hinblick auf die logische Reihenfolge der Arbeitspakete, dass mit dem Anfang des Vorgängerpakets der Folgevorgang beendet werden soll.²⁴

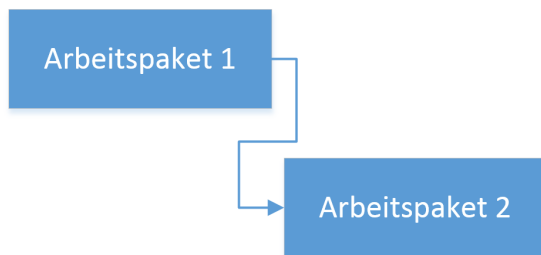


Abbildung 1: Darstellung einer Ende-Anfang-Beziehung



Abbildung 2: Darstellung einer Anfang-Anfang-Beziehung



Abbildung 3: Darstellung einer Anfang-Ende-Beziehung



Abbildung 4: Darstellung einer Ende-Ende-Beziehung

Sind diese Verknüpfungen sinnvoll gesetzt, wird die Dauer der Vorgänge ermittelt. Dies kann z.B. mithilfe von Expertenmeinungen, Vergleichen mit ähnlichen früheren Projekten oder Schätzungen mit maximalen, wahrscheinlichen und minimalen Zeitwerten erfolgen. Zudem kann mit Kennzahlen, wie z.B. der benötigten Rohrlänge,

²³ vgl. Patzak et al., 2009, S. 259f.

²⁴ vgl. Project Management Institute, 2008, S.138

gerechnet werden. Ist bekannt, dass eine bestimmte Zeit pro Längeneinheit benötigt wird, so kann durch Multiplikation der geforderten Längeneinheiten mit der Zeit pro Längeneinheit eine wahrscheinliche Dauer ermittelt werden. Ist die Dauer für alle Aktivitäten ermittelt, so kann mit der Fristen- und Terminplanung begonnen werden. D.h. es wird der früheste und späteste Anfangszeitpunkt und Endzeitpunkt eruiert. Dabei kann vorwärtsgerechnet werden, indem man beim Projektstart beginnt und sich über das Ende des Vorgangs und den Anfang des Folgevorgangs vorarbeitet oder aber, indem man mit der Planung zum Projektendzeitpunkt beginnt und sich zum Anfang hin arbeitet. Sind die Daten bekannt, muss noch die Planung mit arbeitsfreien Feiertagen und terminlichen Ressourcenrestriktionen abgeglichen werden.^{25,26}

Veranschaulicht werden die Ergebnisse für gewöhnlich in einem vernetzten Balkendigramm und einem Netzplan. Bei Ersterem werden die einzelnen Aufgabenbereiche untereinander gelistet und daneben mit miteinander verknüpften Balken die dafür vorgesehene Dauer abgebildet. Dies kann z.B. mit Microsoft Project durchgeführt werden. Bei Netzplänen gibt es diverse Ausprägungen: Ereignisknoten-Netzplan, Vorgangsknoten-Netzplan, Vorgangspfeil-Netzplan. Die gängigste Methode ist der Vorgangsknoten-Netzplan, der mit determinierten Zeitpunkten und Dauern erstellt wird. Hier stellen die Knoten die Vorgänge dar, die mit den Zeitdaten „frühester Anfang“, „spätester Anfang“, „frühestes Ende“, „spätestes Ende“ und Dauer und anderen Vorgangsattributen belegt werden können. Die Pfeile sind die logischen Verbindungselemente zwischen den Vorgängen. Durch Berechnungen ergibt sich daraus der kritische Weg. Der kritische Weg ist jener, der die Dauer des Projekts bestimmt. Grund ist das Fehlen von Pufferzeiten, die einen Zeitverzug abfedern könnten. Vorab anzumerken ist hier, dass sich anhand von Simulationen mehrere kritische Wege ergeben können. D.h. auch Wege, die im Basisplan nicht kritisch sind, können in der Realität kritisch werden, je nachdem, wieviel Zeit die enthaltenen Vorgänge in der Tat beanspruchen. Daher kann durch eine Simulation ein kritischer Index ermittelt werden, der anzeigt, wie wahrscheinlich der kritische Zustand ist.^{27,28}

Vom Ereignisknoten- und Vorgangspfeil-Netzplan wird eher seltener in der Praxis Gebrauch gemacht. Werden sie angewandt, so sieht man sie meist in Verbindung mit der Program Evaluation and Review Technique (PERT). Diese Methode wurde entwickelt, um auf Unsicherheiten in der Planung besser eingehen zu können. Während die Precedence Diagramming Method (PDM) eher den Kosten-Zeit-Aspekt berücksichtigt, liegt hier der Fokus auf der Berechnung einer möglichst realistischen

²⁵ vgl. Project Management Institute, 2008, S.149ff.

²⁶ vgl. Patzak et al., 2009, S. 263f.

²⁷ vgl. Hill, 2010, S.99

²⁸ vgl. Patzak et al., 2009, S. 255ff.

Durchschnittsdauer der Vorgänge. Hierfür werden die erwartete Mindest-, Höchstwahrscheinlichkeits- und Maximal-dauer herangezogen. Die durchschnittliche Dauer wird anschließend mit einer vierfachen Gewichtung des höchstwahrscheinlichen Falls berechnet.

$$t_E = \frac{t_{opt} + 4t_{whs} + t_{pess}}{6}$$

mit t_E ...erwartete Dauer, t_{opt} ...optimistische Dauer, t_{whs} ...Höchstwahrscheinlichkeitsdauer, t_{pess} ...pessimistische Dauer.

Somit reiht sich die PERT-Methode in Vorgehensweisen mit parameterstochastischen Netzplänen ein. Eine stochastisch noch weiterführende Methode ist die Graphical Evaluation and Review Technique (GERT). Hier bei wird zusätzlich die Tatsache beachtet, dass Projekte im Endeffekt nicht zwangsläufig nach dem anfangs definierten Basisplan ablaufen. Manche Vorgänge könnten auch in anderer Kombination auftreten, gerade bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten ist die tatsächliche Abfolge oft schwer abzuschätzen. D.h. bei der GERT-Methode werden sowohl die Dauern als auch die Vorgangsabfolge mit Wahrscheinlichkeiten belegt. Dies führt zu wesentlich konkreteren Ergebnissen, ist jedoch aufgrund ihrer zeitkonsumierenden Komplexität umstritten.^{29,30}

2.1.2.4 Ressourcenplan

Bei der Ressourcenplanung befasst sich der Projektmanager mit der Planung von Einsatzmitteln. Diese können im Falle einmalig verwendbarer Einsatzmittel Material, Einsatzstoffe, Energie etc. bzw. im Falle mehrmals verwendbarer Ressourcen Betriebsmittel, Personen mit unterschiedlichen Qualifikationen und Betriebsstätten sein. Die Kernaufgabe besteht darin, zu bestimmen, wann wo welche und wieviele Einsatzmittel benötigt werden, um einen reibungslosen Projektablauf zu garantieren. Dabei ist es vorerst essentiell die Bedarfsmittel von Engpassressourcen zu eruieren. D.h. von jenen Ressourcen, die durch hohe Nutzungskosten oder stark limitierte Verfügbarkeit gekennzeichnet sind. Hierfür wird mittels einer mathematischen Gleichung der Aufwand eines Vorgangs in Maschinenstunden oder Personentagen gebrochen durch die bereits festgelegte Dauer eines Vorgangs in Tagen sowie die mögliche Arbeitszeit der Ressource in Stunden pro Tag ins Verhältnis gesetzt. Ist dies erfolgt, können die Ressourcen dem zeitabhängigen Vorgangsplan zugeordnet werden. So werden etwaige Überschneidungen oder andere ressourcenbezogene Unstimmigkeiten leicht erkannt und behoben. Beachtet werden muss, dass ein Abgleich mit der Ressourcenverfügbarkeit folgen muss. Es muss sichergestellt werden, dass die Einsatzmittel zu dem geplanten Zeitraum tatsächlich zur Verfügung

²⁹ vgl. Bea et al., 2008, S.167ff.

³⁰ vgl. Schelle, 1997, S.2ff.

stehen. Zusätzlich bedingt eine akkurate Ressourcenplanung, dass auch eventuelle Mangelzustände durch z.B. Ausfallzeiten oder ungeplanten wichtigen Zusatzbedarf mit einkalkuliert werden.³¹

Ein wichtiges Dokument im Rahmen eines Projekts ist ein Ressourcenplan, der den Projektmitarbeitern Rollenbezeichnungen zuweist (wie Ingenieur, Versuchsleiter, Analyst) und diese mit den verbundenen Verantwortlichkeiten, der Autoritätsreichweite sowie Qualifikationen verknüpft. Weiters sollte durch Diagramme die Projektorganisation offengelegt sein. D.h. es sollte ersichtlich sein, welche Ressourcen bestehen und wie deren interne Berichterstattungspflicht ausgeprägt ist. Auch sollte aus einem Personalplan herauszulesen sein, wann welche Ressourcen benötigt werden und wie diesem Bedarf nachgekommen wird.³²

2.1.2.5 Budgetplan

Der Budgetplan dient schließlich zur Orientierung wann welche Kosten anfallen und wie hoch die Gesamtkosten angesetzt werden müssen. Für eine erste grobe Ermittlung der Gesamtkosten können globale Schätzverfahren eingesetzt werden, die sich auf Expertenwissen, historische Daten oder Kennzahlen, die sich z.B. durch den Ressourceneinsatz ergeben, stützen. Daraus ergeben sich ungenaue Richtwerte, die als Anhaltspunkte verstanden werden können, jedoch von individuellen Projektwerten stark abweichen können.

Detaillierter sind analytische Verfahren, die die Kosten mithilfe des PSP ermitteln. Zur Kostenermittlung eignet sich ein Bottom-Up-Verfahren, das auf unterster Ebene mit den Einschätzungen beginnt und schlussendlich in die Gesamtkosten mündet. Dabei ist es sinnvoll, die Kosten für Gruppierungen von Arbeitspaketen anzusetzen, da eine exakte Recherche der einzelnen Arbeitspaketkosten zu zeitintensiv wäre. Die Werte können durch Expertenbefragungen, Kennzahlenanalysen oder Schätzungen auf Basis der maximalen, höchstwahrscheinlichen und minimalen Kosten generiert werden. Die Kosten selbst unterteilen sich in verschiedene Primärkostenarten wie Material, Personal, Fremdleistungen, Geräte. Diesen werden die Ressourcen mit ihren Kostensätzen und ggf. weiteren Attributen zugeordnet. Somit kann bei der Kostenkalkulation gemäß dem PSP eine übersichtliche Aufschlüsselung der Kosten erfolgen. Außerdem sollten zusätzlich zu den ressourcenspezifischen Aufwänden auch Gemeinkosten und Risikozuschläge in die Berechnung miteinbezogen werden. Gemeinkosten, darunter anteilige Kosten für die Infrastruktur des Unternehmens, Managementpersonalkosten u.ä., werden meist anteilig auf die Kostenstellen aufgeteilt. Risikozuschläge können hingegen den betroffenen Stellen gezielt zugeordnet werden und sollten dabei jedenfalls sichtbar ausgezeichnet werden. Wird

³¹ vgl. Patzak et al., 2009, S. 279ff.

³² vgl. Project Management Institute, 2008, S.222f.

dies nicht gemacht, können gravierende Missverständnisse bzgl. des Projektumfangs entstehen. Sind die Kosten ermittelt, werden sie über die Projektlaufzeit aufgetragen. Dies dient neben der anfänglichen Projektabschätzung der Kontrollmöglichkeit, ob der Budgetplan im Projektverlauf noch eingehalten wird oder Maßnahmen eingeführt werden müssen, um starke Abweichungen zu vermeiden.^{33,34}

2.2 Risikomanagement

2.2.1 Begriffsdefinition „Risiko“

Das Risiko stellt per Definition von Vose³⁵ ein beliebiges Ereignis dar, dem drei Merkmale zugewiesen werden können – die Eintrittswahrscheinlichkeit, das Szenario und die Auswirkungen. Im Falle des Eintritts birgt ein Risiko immer auch negative Auswirkungen in sich. D.h. Risiken unterscheiden sich von einander durch die Wahrscheinlichkeit, dass die negativen Folgen eintreten sowie die Konstellation, in der sie auftreten und die Art und Stärke der negativen Folgen. Im Gegensatz dazu ist die Chance zu sehen – ein beliebiges Ereignis, das positive Folgen trägt. Definitionsgemäß müssen auch zwei weitere Begriffe abgegrenzt werden, die Ursachen für die Schwierigkeiten von Zukunftsprognosen darstellen: Unsicherheit und Variabilität. Unsicherheit entsteht durch Ungewissheit desjenigen, der das Risiko validieren soll, über den zukünftigen Verlauf, die Auswirkungen eines Ereignisses. Diese Tatsache muss noch keine Risiken, d.h. negative Konsequenzen, bergen. Tritt jedoch ein Risiko auf, so liegt dem immer eine Unsicherheit zugrunde. Dabei können verschiedene Unsicherheiten vorhergehen – bekannte, unbekannte und unerkennbare Unsicherheiten. Im weiteren Zusammenhang besteht die Hauptaufgabe der Risikoanalyse in der Bestimmung bzw. Annäherung der unbekannteten Unsicherheiten. Unerkennbare sind in dem Sinne nicht analysierbar. Die Variabilität hingegen ist eine Funktion des physischen Systems und zeigt verschiedene Auftrittsmöglichkeiten. Man kann sie im Gegensatz zur Unsicherheit nicht vermindern, indem weitere Werte aufgenommen und analysiert werden. Jedoch verringert sie sich ggf. indem man das System ändert. Ein einfaches Beispiel hierfür wäre der, in der Stochastik gerne als Illustration eingesetzte, Münzwurf. Leicht lässt sich eine Wahrscheinlichkeit angeben, mit der Kopf oder Zahl erscheint. Jedoch kann trotzdem nicht mit Sicherheit gesagt werden, wie oft bei hundert Würfeln Kopf zu sehen sein wird. Auch bei tausend Würfeln wird das nicht möglich sein – ein Effekt der Variabilität.^{36,37}

³³ vgl. Patzak et al., 2009, S. 291ff.

³⁴ vgl. Project Management Institute, 2008, S.171f.

³⁵ vgl. Vose, 2008, S.3

³⁶ vgl. Mun, 2010, S.13f.

³⁷ vgl. Vose, 2008, S.47f.

2.2.2 Schritte des Risikomanagements

Risikomanagement in Unternehmen dient in erster Linie dem bestmöglichen Erreichen der unternehmerischen Ziele durch bewussten und vorausschauenden Umgang mit vorhandenen und im Laufe der Zeit auftretenden Risiken. Demzufolge kann ein möglichst effizienter Ressourceneinsatz gewährleistet und die korrekte Erstellung sowie Einhaltung des Kosten- und Terminplans erreicht werden. Ein Risikomanagementprozess gliedert sich dabei im Groben in die Schritte Risikoidentifizierung, Risikoanalyse, Risikobewältigung, Risikoüberwachung und Risikocontrolling.³⁸

Die Risikoidentifizierung stellt das Hauptkriterium für ein erfolgreiches Risikomanagement dar. Es geht darum, möglichst vollständig die Risiken einer Unternehmung zu erkennen, festzuhalten und in diesem Zug sofort erkannte Maßnahmen zur Risikobewältigung zu vermerken. Hierdurch lassen sich manche Risiken bereits durch einfache erste Reaktionen eliminieren und müssen so in den folgenden Schritten der Risikoanalyse nicht mehr miteinbezogen werden, wohl aber noch weiterhin beachtet und auf Gefahrlosigkeit überwacht werden. Alle Risiken, die nicht in Betracht gezogen wurden, stellen potentielle Gefahrenquellen dar, da nicht auf sie eingegangen werden kann und keine Risikobewältigung durch geeignete Maßnahmen möglich ist. Dies kann gravierende Konsequenzen nach sich ziehen und sogar den Gesamterfolg des Vorhabens ins Negative verkehren.³⁹

Der nächste Schritt ist die Risikoanalyse, die einer Bewertung sowie Analyse der identifizierten Risiken entspricht. Hierbei gibt es zwei Herangehensweisen. Die herkömmlichste ist die deterministische Praktiker-Methode. Dabei werden die Tragweite des Schadens, d.h. die Schadenshöhe, bei Eintreten eines Risikos in Geldeinheiten und die Eintrittswahrscheinlichkeit als Prozentsatz bestimmt. Bei der Angabe der zwei Werte müssen Maßnahmen zur etwaigen Risikobewältigung unberücksichtigt bleiben. Das Produkt der zwei Werte ergibt schließlich den Erwartungswert. Als Abbild des Risikos wird mit diesem Wert bei der folgenden Risikoklassifizierung weiter verfahren. Bei diesem Verfahrensschritt wird vorerst nicht beachtet, welche Gewichtung den jeweiligen Werten zuzuschreiben ist. D.h. es bleibt nicht ersichtlich, ob die Tragweite oder die Wahrscheinlichkeit am entscheidenden für die Höhe des Erwartungswertes ist. Dem wird bei der anschließenden Beurteilung der Risiken in Form einer Portfolioanalyse Abhilfe geleistet bzw. der Wert findet direkt Verwendung im Rahmen der ABC-Analyse. Detailliertere Beschreibungen dieser Methoden folgen im Abschnitt „Stochastisches Projektmanagement“. Damit sind die Risiken auf einfache, jedoch sehr ungenaue Weise evaluiert und könnten in eine Risikobewältigungsstrategie integriert werden. Wie aus praxisnaher Literatur sowie

³⁸ vgl. Sandoval-Wong et al., 2010, S.73

³⁹ vgl. Sandoval-Wong et al., 2010; S. 74

einem Interview mit einem Risikomanager eines größeren österreichischen Unternehmens hervorgeht, stellt der deterministische Risikoanalyseansatz trotz der nicht beachteten Komplexitäten in der Praxis den am gängigsten eingesetzten dar.^{40,41,42}

Weitere deterministische Analyseansätze sind z.B. die Szenariotechnik bzw. das What-if Szenario und die Sensitivitätsanalyse, wobei letztere nur in Kombination mit anderen Verfahren angewendet werden kann.^{43,44} Bei ersterer werden drei Werte eines Ereignisses – der optimistische, pessimistische und der wahrscheinlichste Fall – zur Berechnung herangezogen. Daraus berechnen sich bei einer Variablenzahl n , d.h. n unterschiedlichen Komponenten, 3^n Szenarien, die die Variablen in variierender Kombination beinhalten. Diese werden bei der Bildung des Erwartungswertes gleich gewichtet.⁴⁵ Beispiele für die Verwendung einer daran angelehnten Analyse im Projektmanagement sind Methoden wie PERT. Diese bezieht sich wie bereits im Rahmen des Projektmanagements erwähnt auf die Netzplantechnik und berücksichtigt Unsicherheiten grob durch Durchschnittswerte aus den optimistischen, pessimistischen und höchstwahrscheinlichsten Werten.⁴⁶ Bei Sensitivitätsanalysen werden die einzelnen Variablenwerte einer vordefinierten Anzahl von Änderungen unterworfen. Hierdurch kann festgestellt werden, wie sensibel die Variablen auf Veränderungen reagieren und somit können die kritischsten Werte bestimmt werden. Ihnen gebührt folglich am meisten Beachtung. Dies entspricht jedoch lediglich einer Gewichtung, nicht aber einer alleinstehenden Bewertung der Risiken.⁴⁷

War früher lediglich dieser deterministische Ansatz der Risikoanalyse bekannt und in Verwendung, so steigt mittlerweile der Bekanntheitsgrad des stochastischen Ansatzes. Dieser beschreibt im Prinzip die Weiterentwicklung der traditionellen Risikoabschätzung und geht dabei auf ihre Mängel und Fehlerpotentiale ein. Grund für die Unzulänglichkeit der deterministischen, qualitativen Risikoanalyse ist dabei die ausschließlich von einzelnen, festen Zahlenwerten ausgehende Abschätzung - obwohl diese aufgrund ihres Zukunftsbezugs nicht konkret zu bestimmen sind.⁴⁸

Die quantitative bzw. stochastische Risikoanalyse zielt darauf ab, Risiken konkreter durch Simulationen einschätzen zu können. Per Definition ist diese ein „(...) vereinfachtes Nachbilden einer komplexen Situation oder eines komplexen Systems,

⁴⁰ vgl. Zimmermann et al., 2014, S.274

⁴¹ vgl. Grimscheid et al., 2003, S.571ff.

⁴² vgl. Frey et al., 2001, S.13

⁴³ vgl. Mun, 2010, S.19

⁴⁴ vgl. Sandoval-Wong et al., 2010, S. 76

⁴⁵ vgl. Frey et al., 2001, S.22ff.

⁴⁶ vgl. Project Management Institut, 2008, S.171

⁴⁷ vgl. Mun, 2010, S. 19f.

⁴⁸ vgl. ebenda

um Berechnungen oder Untersuchungen vorzunehmen.“⁴⁹ Die Simulation findet daher besonders dann Anwendung, wenn am realen System nicht getestet werden kann, da es sich z.B. um zukünftige Zustände handelt. Während der Berechnung werden spezifische variablenbezogene Unsicherheiten miteinbezogen. Ein Beispiel hierfür ist die Monte Carlo Simulation, die sich aus der in der qualitativen Analyse eingesetzten What-if Szenariotechnik entwickelt hat. Die Monte Carlo Simulation ist unter den analytischen Methoden am stärksten etabliert, denn sie geht einen deutlichen Schritt weiter, indem sie auch die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Variablenwerte berücksichtigt. Die Ausgangsbasis sind somit die vorab vom Analysten den Variablen zugeteilten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen. Diese sind gängigerweise z.B. Dreieckverteilungen, Beta-Verteilungen (PERT) oder Gleichverteilungen. Die Wahl der zur Variable passenden Funktion erfolgt basierend auf historischen Daten und Expertenmeinungen. In der Monte Carlo Simulation werden diese den Variablen zugewiesenen Funktionen im nächsten Schritt integriert, woraus sich die Stammfunktion, die kumulative Wahrscheinlichkeit, ergibt. Nun werden beliebige Werte, quasi per Zufallsgenerator, gewählt und der zugehörige Variablenwert über die Verteilung ermittelt. Die Auswahl beruht dabei auf dem Prinzip des Ziehens mit Zurücklegen. Der Vorgang wird n mal, gemäß der festgelegten Iterationszahl, für jede einzelne Variable durchgeführt, wodurch schließlich für jede Variable n verschiedene Werte vorliegen. Diese werden in Folge beliebig kombiniert, wobei jede Variable in einem Set an Variablen einmal vorkommen muss. Die Sets werden schlussendlich ausgewertet und es ergibt sich die Wahrscheinlichkeitsverteilung des sich aus den verschiedenen Variablen zusammengesetzten Zielwerts. Diese weist nun u.a. den zu erwartenden Mittelwert sowie dessen Standardabweichung aus. Hierdurch kann der vorab mit Unsicherheiten behaftete Zielwert konkret unter Berücksichtigung der Konfidenzintervalle angegeben und in die weitere Planung miteinbezogen werden. Zu beachten ist jedoch der zentrale Grenzwertsatz der Statistik. Dieser besagt, dass jede Stichprobenfunktion sich mit steigender Stichprobenanzahl n einer Standardnormalverteilung annähert. Die Abweichung der Standardabweichung σ der generierten Funktion von der Standardabweichung der Standardnormalverteilung beträgt $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Um möglichst genaue Aussagen treffen zu können, ist ggf. eine sehr hohe Anzahl an Iterationen notwendig, wobei eine Monte Carlo Simulation sinnvollerweise prinzipiell mit minimal 1000 Iterationen betrieben wird. Abhilfe, um die Anzahl der Iterationen bei gleichbleibender Aussagegenauigkeit zu reduzieren, bietet durch geschichtete Zufallsstichproben eine Erweiterung der Monte Carlo Simulation, das Latin Hypercube Sampling. Hierbei wird die kumulierte Wahrscheinlichkeitsfunktion in n der Iterationsanzahl entsprechende Intervalle geteilt. Dies würde bei $n=10$ zehn 10%-Intervallen entsprechen. Die zufällige Wahl der Variablenwerte beschränkt sich nun pro Iteration auf eines dieser

⁴⁹ vgl. Kolonko, 2008, S.1

Intervalle, wobei jedes Intervall nur einmal bedient werden kann. Noch relativ neue quantitative Analysemethoden sind Bayesian Belief Networks (BBN), das Binary Digit Diagramm (BDD), Multi-State Reliability Analysen, Petri Netze und die Advanced Monte Carlo Analyse. Aufgrund des Fokusses der Arbeit wird auf Analyseformen jenseits der Monte Carlo Simulation nicht weiter eingegangen.^{50,51,52,53,54}

Können die Daten ausschließlich durch Expertenbefragungen erfasst werden, wird für gewöhnlich auf eine Dreiecksverteilung zurückgegriffen. Eine für diese Datenart vorzugsweise verwendete Verteilung ist in Abbildung 5 in drei verschiedenen Varianten, je nach Größe der drei Werte, dargestellt. Da diese Verteilung relativ simpel im Vergleich zu dem geringen Wissen über die Variable ist, kann die Funktion optional erweitert werden. Diese Erweiterung nimmt in die Berechnung die Wahrscheinlichkeiten mit auf, die angeben, wie wahrscheinlich es ist, dass der Wert über oder unter den angegebenen Minimal- und Maximalwerten liegt.⁵⁵

Hervorzuheben ist, dass neben einer relativ akkuraten Angabe des Erwartungswertes der Zielgröße auch die Risikopräferenz des Unternehmens berücksichtigt werden kann. Stellt sich ein Unternehmen als eher risikoavers dar, wird für die weitere Kostenkalkulation von einem Wert ausgegangen werden, der den Erwartungswert übersteigt. Dabei kann anhand der von der Simulation ausgegebenen Verteilung genau das Verhalten des Zielwertes berücksichtigt werden und ein entsprechender Wert gemäß dem angestrebten Konfidenzintervall gewählt werden. Ist das Unternehmen risikoneutral eingestellt, so wird es sich für den Erwartungswert entscheiden, ist es risikofreudig, für einen Wert unter dem Erwartungswert der Tragweite des Risikos. Im direkten Vergleich zu deterministischen Methoden ist zudem noch zu verdeutlichen, dass der generierte Erwartungswert vom deterministischen abweichen kann. Dies lässt die logische Folgerung zu, dass bei der quantitativen Methode wesentlich genauer gearbeitet wird.

⁵⁰ vgl. http://www.palisade.com/risk/de/monte_carlo_simulation.asp

⁵¹ vgl. Frey et al., 2001, S.22ff.

⁵² vgl. Vose, 2008, S.3f.

⁵³ vgl. Aven, 2011, S.3

⁵⁴ vgl. Dupire, 1998, S.6f.

⁵⁵ vgl. Vose, 2008, S.403f.

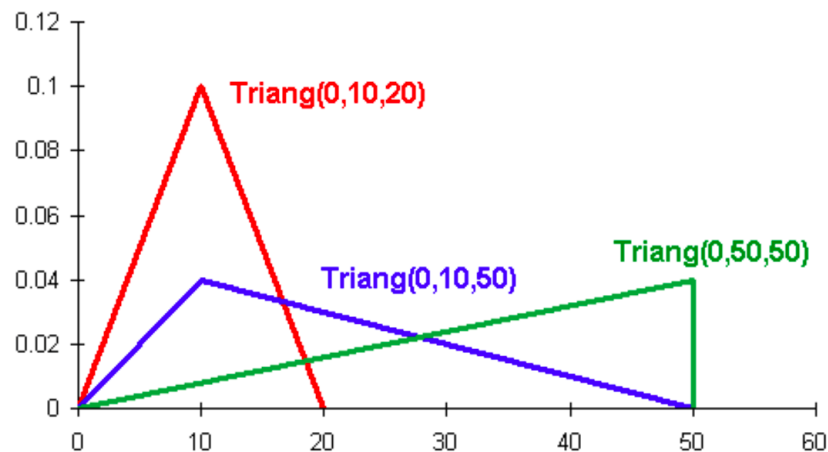


Abbildung 5: rot: symmetrische Dreiecksfunktion, blau: Dreiecksfunktion mit hoher Wahrscheinlichkeit für Werte über dem Höchstwahrscheinlichkeitswert, grün: Dreiecksfunktion mit hoher Wahrscheinlichkeit für Werte unter dem Höchstwahrscheinlichkeitswert⁵⁶

Den nächsten Schritt im Risikomanagementprozess bildet die Risikobewältigung. Hierbei gilt es zu prüfen, ob ein Risiko vermieden, vermindert, übertragen oder akzeptiert werden kann und somit selbst getragen werden muss. Die Evaluierungsabfolge entspricht dabei eben dieser Reihenfolge. Favorisiert wird die Risikovermeidung, wodurch ein Risiko anhand von passenden Maßnahmen eliminiert werden kann. Gelingt dies nicht, so ist als nächstes eine Risikoverminderung anzustreben, wobei unterschieden werden kann, ob dies in Bezug auf die Ursachen oder die Auswirkungen eines Risikos geschehen soll. D.h., einerseits können die möglichen Ursachen, die den Eintritt eines Risikos mit sich bringen, auf ein Minimum reduziert werden, andererseits kann auf die Auswirkung im Rahmen von Schadensbegrenzung oder Schadensvorsorge eingewirkt werden. Die letzte Variante würde somit bedeuten, dass Vorkehrungen getroffen werden, sodass bei Eintritt des Risikos das Schadensausmaß möglichst gering gehalten wird. Ist auch diese Alternative nicht möglich, so ist eine Risikoübertragung zu erwägen. Dies äußert sich im Abschluss einer Versicherung gegen das Risiko oder der Übertragung auf einen Dritten. Im Fokus sollte dabei bleiben, dass das Risiko auf diejenigen übertragen werden sollte, der am besten damit umgehen und es ausgleichen kann. Falls keine Maßnahmen zur Risikobewältigung ermittelt werden können, ist der letzte Schritt die Risikoakzeptanz. Dies kann auch Akzeptanz eines Restrisikos bedeuten, das nach Anwendung anderer Maßnahmen zur Risikoverminderung noch verbleibt. Für diesen Fall sollten Risikorückstellungen eingeplant werden.⁵⁷

Auf die Risikobewältigung folgt die Risikoüberwachung, die parallel zur Durchführung der risikobehafteten Unternehmung erfolgt. Ziel ist dabei die Überprüfung, ob sich die Risiken in den prognostizierten Bereichen bewegen oder ggf. bedeutende

⁵⁶ vgl. http://www.epixanalytics.com/modelassist/AtRisk/Model_Assist.htm#Modeling_expert_opinions/Triangular_distribution.htm

⁵⁷ vgl. Grimscheid et al., 2003, S.576f.

Abweichungen zu verzeichnen sind. Hierzu notwendig ist die kontinuierliche Kommunikation zwischen den Aufgabenbereichen.⁵⁸

Im Rahmen des Risikocontrollings werden schließlich Risikoregister, Beurteilungskriterien, Datenbanken und Checklisten angelegt, um bestmöglich auf bestehende sowie auch neu auftretende Risiken reagieren zu können. Hier liegt die Verantwortung korrekt auf wahrgenommene Abweichungen zu reagieren und mit entsprechenden Maßnahmen einzugreifen.⁵⁹

2.3 Technisches Konzept

2.3.1 Anlagenprinzipien konzentrierender Solarthermie

Die zu planende Pilotanlage reiht sich in die Produktpalette der konzentrierenden Solarkollektoren (CSP) ein. Um Sonnenlicht als Energiequelle zu nutzen, steht nach heutigem Stand der Technik eine Vielzahl an Kollektorarten zur Verfügung. Neben den weitverbreiteten Flachkollektoren werden sowohl zweidimensional als auch dreidimensional konzentrierende Kollektoren eingesetzt. Diese finden speziell dann Verwendung, wenn höhere Temperaturen am Absorber erreicht werden sollen – wie zum Beispiel als Wärmequelle für einen angeschlossenen Dampfkraftprozess. Der Gedanke hinter konzentrierenden Kollektoren ist, dass durch die Konzentration einfallende Sonnenstrahlen auf einen, im Vergleich zu Flachkollektoren, kleineren Fokusbereich konzentriert werden. Dies spart Absorberfläche, die für den Großteil der Wärmeverluste verantwortlich ist.

Konzentrierende Kollektoren können punktkonzentrierend oder linienkonzentrierend sein. Beispiele für linienkonzentrierende Kollektoren sind die englisch benannten Parabolic Through Kollektoren (PTC), Compound Parabolic Konzentratoren (CPC) und Compact Linear Fresnel Kollektoren (CLFC), die Sonnenstrahlen auf einen schmalen Linienbereich konzentrieren.

Bei PTCs, die in der im Zuge der Arbeit zu planenden Anlage verbaut werden, können nur direkt und senkrecht einfallende Strahlen, Direktnormalstrahlung (DNI) genannt, mit Hilfe eines parabelförmigen Reflektors konzentriert werden (Anhang 1). Dabei erreicht ein sehr hoher Anteil der eintreffenden Strahlen den Absorber.

CPCs bestehen zu beiden Seiten aus parabelförmigen Spiegeln, die eintretende Sonnenstrahlen auf den Absorberbereich konzentrieren. Anders als bei PTCs kann hier die eintretende Strahlung auch diffus bzw. schräg aufkommen, um auf den Absorber konzentriert zu werden. (Siehe Anhang 2)

⁵⁸ vgl. Sandoval-Wong et al., 2010, S. 79

⁵⁹ vgl. ebenda

Die Funktionsweise des CLFCs beruht auf jener des PTCs, der Reflektor setzt sich hingegen aus einzelnen Spiegelementen zusammen (Anhang 3). Die Spiegel sind flach und bodennah, wodurch der Konstruktionsaufwand gering gehalten werden kann. Die auftreffende Strahlung wird in die Höhe auf den Absorber konzentriert.

Punktkonzentrierende Kollektoren sind Parabolic Dish Kollektoren und Heliostat Field Kollektoren. In Ersteren wird durch eine zweiachsige Nachführung stets direkte Sonnenstrahlung auf einen Punkt im mittleren Bereich der parabelförmigen Schüssel konzentriert (Anhang 4). Oft ist direkt beim Fokalebereich ein Stirling Motor appliziert, wodurch gleich vor Ort elektrische Energie erzeugt werden kann.

Bei dem Heliostat Field Kollektor konzentrieren einzelne, der Sonne folgende, flache Spiegel, sogenannte Heliostats, die Strahlung auf die Spitze eines Turms, wo ein Fluid zur Stromerzeugung erwärmt wird (Anhang 5).

Hinter dem technischen Konzept der im Zuge dieser Arbeit behandelten Anlage steht das Prinzip der Solarthermie in Form des PTCs. Bei Parabolrinnenkraftwerken wird in einem Kollektorfeld solare Strahlung durch dem Stand der Sonne einachsig nachgeführte Parabolspiegel auf ein in der Fokallinie montiertes Absorberrohr konzentriert. Am Absorber wird sie absorbiert und in Form von Wärmeleitung auf ein Fluid (genannt HTF - Englisch für Heat Transfer Fluid) übertragen, welches durch Konvektion einen Wärmefluss verursacht. Um Verluste zu vermeiden, ist das speziell beschichtete Absorberrohr in einem vakuumierten, geätzten Glasrohr, das auch bei hohen Temperaturen hohe Stabilität und Durchlässigkeit garantiert. Das Vakuum zwischen Glas und Absorberrohr hat dabei die Funktion, den Wärmeverlust durch Wärmeleitung und -konvektion möglichst gering zu halten. Ebenfalls zum Zweck geringen Wärmeverlustes ist die Beschichtung des Absorberrohrs so gewählt, dass es die kurzwelligen Sonnenstrahlen sehr gut absorbiert, die erzeugte langwellige Wärmestrahlung jedoch kaum emittieren lässt. Als Wärmeträgermedium wird gewöhnlich synthetisches Öl verwendet. Ersatz durch eine Salzlösung oder ein Wasser-Dampf-Gemisch ist weniger erprobt.

Bei herkömmlichen Anlagen setzt standardmäßig ein nachgeschaltetes Dampfkraftwerk die im Solarfeld erzeugte Wärme in Strom um. Optimalerweise wird ein solches Kraftwerk um einen Speicher, z.B. Flüssigsalzspeicher, erweitert, um auch nachts bzw. an sonnenkargen Tagen die Stromversorgung aufrecht erhalten zu können. Als Ergänzung wird aus demselben Grund meist eine Gas-Dampf-Anlage angeschlossen. Eine Abbildung des Anlagenschaltbildes kann Anhang 6 entnommen werden.

2.3.2 Neuheit des Solabolic-Konzepts

Nachdem der Materialaufwand für herkömmliche PTC-Konstruktionen sehr hoch ist, wurden weltweit, besonders in Spanien und den USA, zwar schon mehrere Kraftwerke dieser Art gebaut, jedoch weit entfernt von Kosteneffizienz. Ein Grund warum Parabolrinnenkraftwerke, in Konkurrenz zu im Preis stark fallenden Photovoltaikanlagen zur elektrischen Energieerzeugung, trotz vieler Weiterentwicklungen bis heute nicht kompetitiv am Strommarkt sind.

Diesem Trend soll die durch das junge Unternehmen Solabolic entwickelte Konstruktion entgegenwirken. Hierbei liegt das wirtschaftliche Argument auf einer Kostenreduktion durch Materialeinsparung um 30%. Bisher wurden bei den Anlagen starre, gewölbte Spiegel verwendet, die einerseits sehr kosten- und materialintensiv sind, andererseits eine massive Unterkonstruktion benötigen und bei großen Aperturen Probleme bei starker Windbelastung erfahren. Dies wiederum führt dazu, dass die Montage sehr kostenintensiv ist und man in der Regel, aufgrund der Komplexität, nicht auf lokales, speziell geschultes Personal zurückgreifen kann. Bei der neuen Parabolspiegelkonstruktion handelt es sich hingegen beim Konzentrator um Alubleche, die mit einer speziellen Folie beschichtet sind, wodurch Spiegel ersetzt werden. Mit Stahlseilen und Federn werden diese Bleche am Unterbau befestigt und so in parabolischer Form gehalten (siehe Abbildung 6). Auch bei größeren Aperturweiten, d.h. Öffnungen des parabolförmigen Konzentrators, bleiben dabei die maximal möglichen auftretenden Spannungen stets im Toleranzbereich. Grund dafür ist die flexible, elastische Befestigung der Folie, die selbst bei größeren Windeinflüssen das Aufrechterhalten der parabolischen Form garantiert. Gleichzeitig erlaubt die Konstruktion eine wettbewerbsentscheidende Materialersparnis am Träger sowie Spiegel und Aufbau. Die simple Struktur ermöglicht zudem eine Montage am Aufstellungsort durch lokale, durchschnittliche Techniker sowie die Verwendung lokal gefertigter Komponenten. Neben den Kosteneinsparungen am Material ist besonders auch der Einsatz von lokalem Arbeitspersonal und Material ein wichtiger Faktor, der die Vermarktung des Anlagentyps vorantreiben soll. Besonders in Ländern hoher Direktnormalstrahlung, die sich am geeignetsten für PTC-Anwendungen erweisen, besteht ein hohes Interesse an der Vitalisierung des Arbeitsmarktes und der Wirtschaft. Durch den hohen lokalen Anteil soll daher die Bereitschaft der Länder erhöht werden, bessere Rahmenbedingungen für die Technologie zu schaffen. Zudem setzt das Unternehmen Solabolic auf eine Implementierung des Kollektors auch jenseits der Elektrizitätserzeugung, um sich von dem Preisdruck durch anderweitige Elektrizitätserzeugung zu entfernen. Der Absatz soll stattdessen durch den direkten Einsatz im Bereich Entsalzung und Prozesswärme sichergestellt werden. Dies sind zwei Anwendungsformen, bei denen direkt auf die im Kollektorfeld erzeugte und für die Anwendung benötigte Wärme zurückgegriffen werden kann - eine Eigenschaft, die nur die Solarthermie bietet.

Dadurch wird die Technologie nicht zwingend über ihre Kosten pro Kilowattstunde bewertet, sondern weitere Vorzüge spielen bei der Beurteilung eine Rolle. Bei der Wahl der Absatzmärkte beschränkt sich das Start-up, nach eingehenden Recherchen, auf die MENA-Region.

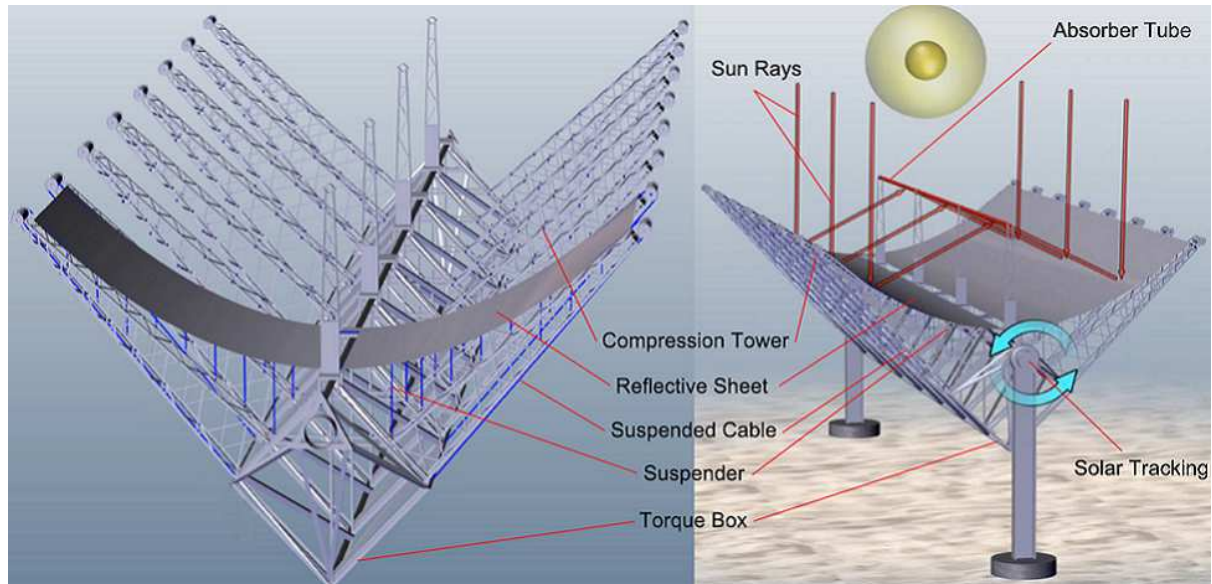


Abbildung 6: Neuentwicklung einer Parabolspiegelkonstruktion mit durch Stahlseile gespannter reflektierender Folie⁶⁰

Bei der in Ägypten zu bauenden Pilotanlage handelt es sich zu Testzwecken vorerst um eine Single-Loop Anlage, im Gegensatz zu den Großanlagen mit mehreren Kollektorschlaufen. Während in weiterer Folge auch eine nicht alleinstehende Anlage konzipiert werden soll, die an ein Industrieunternehmen angeschlossen wird, wird die zu planende erste Anlage auf einem Testfeld errichtet. Dabei handelt es sich um ein bereits ansatzweise präpariertes Gelände, auf dem Stromanschlüsse und Wasserversorgung vorhanden sind.

⁶⁰ vgl. <http://www.solabolic.com/technology>

3 Stochastisches Projektmanagement

3.1 Kombination des Projekt- und Risikomanagements

Um den Bau der Pilotanlage geregelt durchlaufen zu können, bedarf es eines guten Projektmanagements. Nachdem das Produkt eine Neuentwicklung ist, können Kosten und Zeitaufwand in vielen Bereichen nur vage bestimmt werden. Im Vergleich zu Produktions- und Montagekosten von bereits etablierten gleichwertigen Produkten könnten sich ggf. bedeutende Abweichungen manifestieren. Zudem stellt der Aufbau in einem arabischen Land, dessen politische Stabilität nur teilweise gegeben ist und dessen geschäftliche Abläufe sich von gewohnten, heimischen unterscheiden, eine weitere Planungsherausforderung dar. Hinzu kommt die schlechte Zugänglichkeit zu historischen Daten, da diese sowohl aufgrund der relativen Neuartigkeit der Solartechnologie als auch vernachlässigter Aufzeichnung von Projekterfahrungen nicht vorhanden sind. Daher ist es wichtig, einen geeigneten Projektmanagementansatz zu finden, der diese Unsicherheiten zu einem ausreichenden Maß berücksichtigen kann. Deterministisches Projektmanagement, das im Bereich Projektplanung sehr beliebt ist, kommt bei solchen Fragestellungen vermehrt an seine Grenzen. Stochastisches Projektmanagement unter der Verwendung des Monte-Carlo-Ansatzes hingegen eignet sich hierfür sehr gut. Unsicherheiten können so abgeschätzt und konkrete, fundierte Prognosen angestellt werden. Daher wird die Projektplanung der Pilotanlage aus dem Bereich erneuerbare Energien eng mit der Risikoanalyse und Simulation verknüpft.

3.2 Risikomanagement für erneuerbare Energien

Risikomanagement im Bereich erneuerbare Energien spielt für den Erfolg der meist noch in den Anfangsphasen stehenden Technologien eine bedeutende Rolle. Dies lässt sich u.a. aus einer von der International Energy Agency (IEA) in Auftrag gegebenen Studie erschließen. Grund der Studie war die allgemeine Wahrnehmung, dass die Zahl der Installationen erneuerbarer Energieanlagen zwar gestiegen ist, jedoch das eigentlich bestehende Potential nicht ausgeschöpft werden kann. Als Schlüsselpunkt hierfür wird die unterschiedliche Wahrnehmung von Risiken durch die Entwickler, Investoren und Stakeholder gesehen. Ein ganzheitliches, standardisiertes Risikomanagement könnte hier Abhilfe schaffen und somit weitere Potentiale erschließen. Bereits anhand von historischen Aufzeichnungen kann im Bereich der fossilen Energiegewinnung festgestellt werden, dass viel aussagekräftigere Prognosen nach der Einführung eines Risikomanagements möglich waren. Abbildung 7 aus der IEA-Studie zeigt den Verlauf von Kosten- bzw. Zeitüberschreitungen über 20 Jahre deutlich. Hervorzuheben ist dabei vor allem der letzte Abschnitt auf der Abszisse, in dem Risikomanagement Eingang in Projekte gefunden hat. Die

Einsparungen auf Basis von Risikomanagementmethoden zeigen keine starken Abweichungen von dem blau eingezeichneten Strich, dem zu Projektanfang ermittelten Erwartungswert. Demzufolge konnten Risiken effizient eingeschränkt und ein relativ planmäßiger Projektablauf erzielt werden. Im Gegensatz dazu steht der erste Abszissenabschnitt, der hohe Abweichungen aufweist. Neben dem fehlenden Risikomanagement sind hier vor allem die noch geringen Erfahrungswerte in dieser Phase, eher noch einer Pionierphase fossiler Anlagen, der Hauptfaktor für die Unstimmigkeiten. Im darauf folgenden Abschnitt ist zu sehen, dass sich die Werte markant den Schätzwerten annähern. Grund dafür ist jedoch, neben einer erweiterten Datenbasis, nicht eine effizientere bzw. perfektionierte Projektplanung, sondern lediglich der vermehrte Einbau von Pufferzeiten und -kosten in die initiale Planung. Dementsprechend ist die Annäherung an den Schätzwert wirtschaftlich nicht vorteilhafter einzuschätzen als die entstandenen Abweichungen der vorgehenden Phase, da ebenso erhebliche Mehrkosten entstanden sind.⁶¹

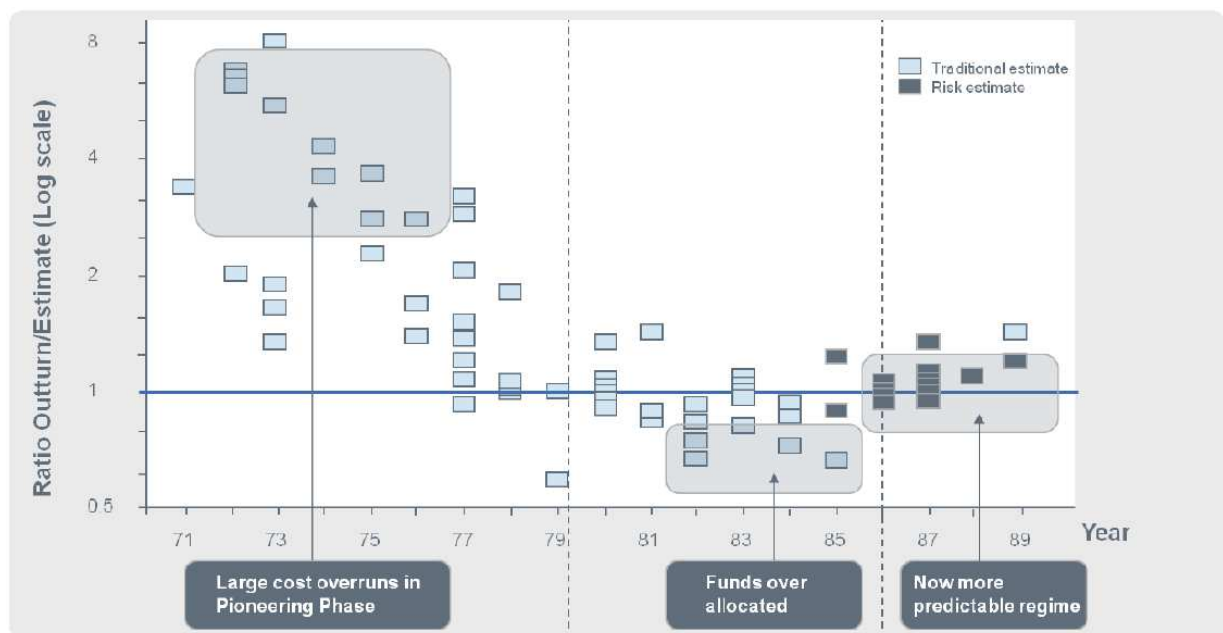


Abbildung 7: Abweichungen von den anfänglichen Projekteinschätzungen zu konventionellen Energieanlagen im Verlauf von 20 Jahren; horizontale Linie bei 1 entspricht dem anfänglich ermittelten Erwartungswert, dunkelblau eingetragene Werte stammen von Projekten mit Risikomanagement⁶²

In Korrelation dazu kann das Kostenverhalten in erneuerbaren Energieprojekten gesehen werden. Ohne bestehendes Risikomanagement wird man es nicht schaffen, ohne eingebaute übermäßige Puffer die anfangs kalkulierten Zielwerte zu erreichen. Zu viele Risiken bleiben hierbei unberücksichtigt und können unerwartet eintreten. Nur wenn erneuerbare Energieprojekte auch ein ausgereiftes Risikomanagement in den Projektverlauf integrieren, wird es möglich sein, Potentiale bestmöglich

⁶¹ vgl. Altran, 2011, S.10ff.

⁶² vgl. Altran, 2011, S.28

auszuschöpfen. Viele Akteure aus dem Fachgebiet nehmen jedoch hierfür nur widerwillig stochastische Methoden an.⁶³

Was von Projekten konventioneller Energieanlagen zudem gelernt werden kann, sind die Risikostrategien in verschiedenen Bereichen. Zur Bewältigung von politischen Risiken bieten sich demnach auch für erneuerbare Energieprojekte besonders Partnerschaften und Joint Ventures, aber auch politische Risikoversicherungen sowie Kreditausfall-Swaps an. Hinsichtlich wirtschaftlicher Risiken bilden speziell Take-or-Pay-Verträge mit langen Laufzeiten und Garantien sowie zu einem gewissen Maß auch Zinsderivatübertragungen gute Möglichkeiten, um Risiken einzudämmen. Erstere Vertragsart legt eine bestimmte Energieabsatzmenge fest, die vom Energieabnehmer als Vertragspartner zu zahlen ist. Kann die vereinbarte Menge nicht produziert werden oder nimmt der Käufer die Menge nicht ab, so muss die Zahlung trotzdem geleistet werden. Ähnlich ist es bei Zinsderivatübertragungen, bei denen sich der Käufer zu einem bestimmten Zahlungsbetrag für die gelieferte Energie verpflichtet, unabhängig von den aktuellen, ggf. fallenden Marktpreisen. Bei den sozialen und technischen Risiken sind generell alle Strategien anwendbar. Diese setzen sich im technischen Bereich aus einer Risikoaufteilung unter Vertragspartnern, Garantien sowie Versicherungen zusammen. Für Risiken im sozialen Bereich könnten Öffentlichkeitsbefragungen, Umwelt- und Sozialverträglichkeitsprüfungen sowie ggf. auch Kompensationen und Umwelt- und Sozialstandards zur erfolgreichen Bewältigung beitragen.^{64,65}

Auch eine Studie im Zuge des 5. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission zum Thema Risikomodellierung hat die Bedeutung eines ganzheitlichen Risikomanagements bereits in 2004 hervorgehoben. Demnach bestünden wesentliche Risiken auf Seite der Investoren, des Produzenten sowie des Käufers alternativer Energie. Ein Risikomanagement vorausgesetzt, würde auch die bereits vorgestellte Szenariotechnik als Prognoseinstrument nicht ausreichen. Die Aussagen über die Höhe der Risikotragweite würden nicht reichen, um Investoren und Käufer überzeugen zu können. Daher sollte die Simulation ein wesentlicher Bestandteil von erneuerbaren Energieprojekten sein. So könnte für den Investor z.B. abgeschätzt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Investment nicht den erstrebten Finanzertägen nachkommen kann. Oder aber auch welche Anforderungen an den Ökostrompreis bestehen, um das Projekt profitabel zu machen.⁶⁶

Besonders auf Risiken im solarthermischen Bereich eingehend, wurden von Altran branchenspezifische Risiken ermittelt. Dies erfolgte im Rahmen von Expertenbefragungen in Workshops. Fachleute z.B. von großen Solaranlagenherstellern wie

⁶³ vgl. Altran, 2011, S.50

⁶⁴ vgl. Altran, 2011, S.24

⁶⁵ vgl. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/take-or-pay-vertrag.html>

⁶⁶ vgl. KEMA, 2004, S.15ff.

Abengoa, Sunpower, BP Solar, Naturener Solar oder Lux Energia Solar wurden hierfür um Einschätzungen gebeten. Dabei wurde erkannt, dass z.B. aufgrund von politischen Instabilitäten, mangelndem Wettbewerb und fehlenden Datengrundlagen Schwierigkeiten bei der exakten Einschätzung der Risiken bestehen. Eine entsprechende Betrachtung kann Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Schwierigkeitsgrad bei der Risikobeurteilung von solarthermischen Anlagen⁶⁷

Schwierigkeiten bei der Risikobeurteilung	Unsicherheitsgrad	Begründung
Politik und Implementierung	hoch	Wechselnde politische Strategien
Angebot und Nachfrage	mittel	Wenige bedeutende Akteure
Zugänglichkeit zu Daten über Ressourcen und Wetterverhalten	niedrig	Verlässliches Datenmaterial über große Regionen vorhanden
Zugänglichkeit zu Daten über Technologieverhalten	niedrig-hoch	In Abhängigkeit der technologischen Reife
Netzintegration	hoch	Schlechte Netzabdeckung
Operative Risiken	mittel	Regelbarkeit, Verfügbarkeit von Wasser
Unbeeinflussbare Risiken, z.B. Stakeholder, Opposition, öffentliche Wahrnehmung	mittel	In Abhängigkeit lokaler Bedingungen

Unter Berücksichtigung dieser Problematik wurden die genannten Risiken gemäß ihrem Einfluss auf die Eigenkapitalrendite (ROE für Return on Equity) sowie die Fremdverschuldungskapazität eingeschätzt. Die grafische Aufbereitung der Daten kann Abbildung 8 entnommen werden. Zahlen mit roter Umrandung sind den Risiken der Parabolrinnenkonstruktionen zuzuordnen, Zahlen mit gelber Umrandung den Risiken, die für Parabolic Dish Konstruktionen genannt wurden, jedoch auch für Parabolspiegel zutreffend sind.

Hinter den Nummerierungen finden sich folgende Risiken:

- 4: Erhöhter Wartungsbedarf wegen verschmutzter Spiegel
- 6: Lebensdauer der Spiegel (bei rauen Bedingungen)
- 8: Fluktuationen der einspeisbaren Energiemengen und damit auch des Elektrizitätsnetzpreises (Überkapazitäten)
- 9: Materialbeständigkeit (bei hohen Temperaturen)
- 20: Geringe Anzahl von Receiverrohr-Herstellern
- 21: Geringe Anzahl von Parabolspiegel-Herstellern
- 22: Mechanische Ausfälle
- 23: Wirkungsgradverlust durch Störungen des Nachführsystems
- 24: Lebenszeit der Komponenten
- 25: Sicherheit bzgl. des Flüssigsalzes
- 26: Wartungskosten

⁶⁷ vgl. Altran, 2011, S.33

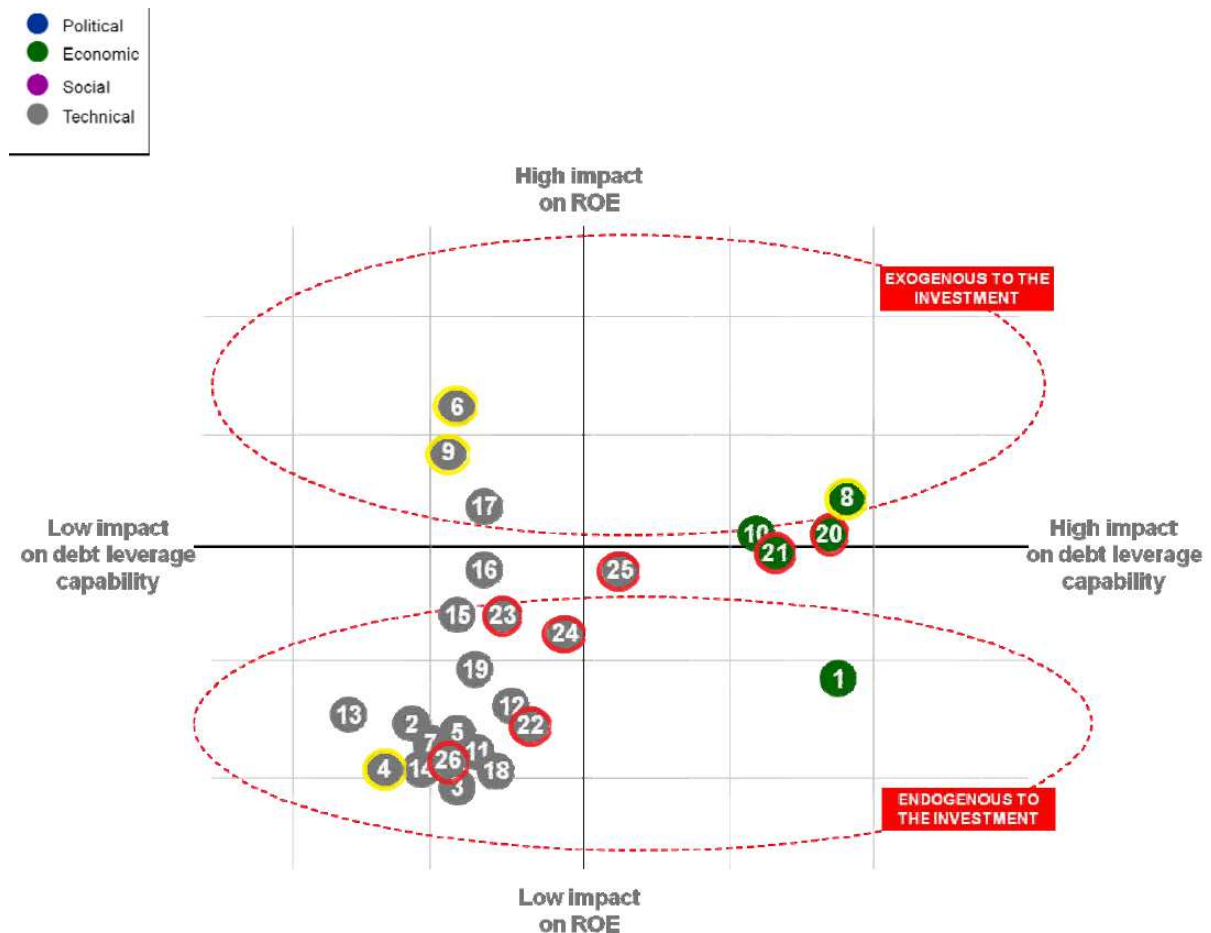


Abbildung 8: Einordnung der von Experten genannten Risiken nach Eigenkapitalrendite (ROE für Return on Equity) und Fremdverschuldungskapazität (rot: verzeichnete Risiken von Parabolspiegelkollektoren; gelb: Risiken von Parabolic Dish Kollektoren, die auch auf Parabolspiegel zutreffen)⁶⁸

Auffallend ist, dass nur technische sowie wirtschaftliche Risiken angesprochen wurden. Soziale und politische Risiken blieben bei der Risikoidentifikation unbeobachtet. Diese sollten bei vollständigen Identifikationsverfahren jedoch auf jeden Fall mit berücksichtigt werden, auch wenn diese im Vergleich zu andern erneuerbaren Energieanlagen ggf. geringere Ausmaße haben. Besonders politischen Risiken sollte bei solarthermischen Projekten Aufmerksamkeit geschenkt werden, da gerade die Weltregionen, die sich am geeignetsten bzgl. Anlageneffizienz erwiesen haben, politisch instabile Verhältnisse aufweisen. Jedoch stellt es eine wesentliche Schwierigkeit dar, die politischen Rahmenbedingungen richtig zu beurteilen. Weitere unumgängliche Ungenauigkeiten betreffen Risikobeurteilungen der Netzintegration, von Angebot und Nachfrage, der Zugänglichkeit zu Daten über Ressourcen und Wetterverhältnisse, der Zugänglichkeit zu Daten über Technologieverhalten, der operativen Risiken und der unbeeinflussbaren Risiken, die von Stakeholdern, Opponenten oder der Öffentlichkeit ausgehen.⁶⁹

⁶⁸ vgl. Altran, 2011, S.37

⁶⁹ vgl. Altran, 2011, S.33

3.3 Beurteilung des Status-Quo

Studien haben festgestellt, dass ungefähr 60% der im Rahmen eines Projekts auftretenden Verluste bereits in der Vorvertragsphase entstehen. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass gerade eine ausführliche Risikoanalyse in dieser Projektphase ein entscheidender Erfolgsfaktor für das Projekt ist. Betrachtet man jedoch das allgemeine Risikoanalyseverhalten der Unternehmen, so ist festzustellen, dass oftmals keine systematische, die erforderlichen Aspekte inkludierende Risikoanalyse stattfindet. Wird eine Risikoanalyse gemacht, so neigen die Unternehmen dazu, Risikozuschläge mithilfe der Praktiker-Methode qualitativ zu pauschalisieren - teils im Unternehmen die einzig bekannte Methode - statt quantitativ projektspezifische Zuschläge anhand von Simulationen zu ermitteln. Eine Folge ist, dass bestehende Risiken übersehen oder schlicht ignoriert werden.^{70,71,72}

Um die genaue Einstellung von Unternehmen gegenüber Risikomanagement in Projekten zu erschließen, wurde an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt eine Umfrage gestartet, die Daten von 114 Unternehmen sammelte (zu denen jedoch keine genaueren Angaben bzgl. Größen- und Branchenverteilung gegeben werden). Demnach führen nur 33% der Unternehmen bei jedem Projekt eine Risikoanalyse durch, 17% ab einem Projektbudget von EUR 10.000 und vier Großbetriebe erst ab einem Projektbudget von EUR 1 Million. 37% der befragten Unternehmen integrierten in ihr Projektmanagement überhaupt keine Risikomanagementmethoden. Kommt Risikomanagement zum Einsatz, so werden von 76% Risikochecklisten, von 53% die Methode des Brainstormings und von 47% entsprechende Kennzahlen für die Risikoidentifikation eingesetzt. Gefragt nach auftretenden Problemen wurde an erster Stelle der hohe Zeitaufwand, gefolgt von auftretender Komplexität und ungenauen Ergebnissen genannt. Im Rahmen der anschließenden Risikobewertung wurde als Schwierigkeit bei den dazu verwendeten Methoden besonders die fehlende Erfassung von Korrelationen zwischen den Einzelrisiken erwähnt, sowie ein weiteres Mal die Ungenauigkeit, der hohe Zeitaufwand und hohe Kosten. Stellt man diese Aussagen dem eingangs erwähnten Prozentsatz von 60% der Verluste in der Vorvertragsphase gegenüber, so scheint ein Missverhältnis bzw. größtenteils ein verzerrtes Wahrnehmungsbild seitens der Unternehmen vorzuherrschen. Das Bewusstsein der Zeitersparnis während der Projektlaufzeit aufgrund eines ausführlichen, mit vergleichsweise wenig Zeitaufwand verbundenen Risikomanagements in der Anfangsphase scheint nicht stark ausgeprägt zu sein. Ebenso wenig die daraus resultierende kumulierte Kostenersparnis zu Projektende. Fragt man jedoch nach der Projekterfolgsquote nach dem Einsatz von Risikomanagementprozessen, so liegt diese bei dem Großteil

⁷⁰ vgl. Grimscheid, 2003, S.571

⁷¹ vgl. Kanacher, 2010, S.198

⁷² vgl. Medgenberg et al. S.162

der Unternehmen zwischen 76% und 100%. Wenn auch eine genaue Beschreibung der befragten Unternehmen ausständig ist, so kann in Abstimmung mit weiterführender Literatur den Ergebnissen eine, im Groben, generelle Gültigkeit bzw. Anwendbarkeit zugesagt werden.⁷³

Zur Erklärung der geringen Anwendung von Simulation als Basis einer ganzheitlichen Risikoanalyse stehen viele Interpretationen zur Verfügung, die von Zeitmangel bzgl. der Einarbeitungszeit in ein neues Analyseverfahren, über zu geringe Motivation und fehlende statistische Kenntnisse reichen. Eine jedoch noch grundlegendere Erklärung lieferten Medgenberg und Nemuth. Sie sehen die bisher noch geringe Akzeptanz in der mangelnden Kenntnis oder Interesse vieler Projektmanager für mathematische, quantitativ analytische Verfahrensweisen. Grund hierfür ist der meist betriebswirtschaftliche Hintergrund der beauftragten Personen und die somit im Berufsalltag eher selten bis nicht auftretende Konfrontation mit mathematischen, planerisch-technischen Vorgehensweisen. Bei Technikern, so die Vermutung, würde die Einbeziehung von Simulationssoftware höheren Anklang finden, da sie bereits an ähnliche Verfahrensweisen im Zusammenhang mit Analyseverfahren wie Finite Elemente Berechnungen gewöhnt sind.⁷⁴

Das beschriebene Risikoanalyseverhalten von Unternehmen erlangt besonders in Anbetracht der bekannten, brachenübergreifend häufigen Budget- oder Terminplanüberschreitungen Bedeutung. Diese wären durch ausgeprägtere Risikomanagementansätze zum Großteil besser kalkulierbar bzw. durch entsprechende Maßnahmen steuerbar. Ein wichtiger Faktor sind hier stochastische Analyseverfahren. Nur so können Ressourcen optimal eingesetzt und etwaige Misserfolge bestmöglich vermieden bzw. reduziert werden.

3.4 Kritik an stochastischen Methoden

Die Kritik an stochastischen Methoden zur Unterstützung von Projektmanagement resultiert aus der Unschärfe ihrer Eingabewerte. Die Werte der Schadenshöhe mit ihren Abstufungen maximal, minimal und am wahrscheinlichsten werden auf Basis von Expertenmeinungen und historischen Daten bestimmt. Gerade bei Bauvorhaben kann jedoch meist nicht auf den Erfahrungsschatz einer großen Anzahl gleichartiger Projekte zurückgegriffen werden. Wobei erschwerend hinzukommt, dass sich sogar scheinbar gleiche Projekte durch eine Vielzahl von Faktoren unterscheiden können, die in der Natur des Projekts liegen. So wird sich z.B. für gewöhnlich die Zusammensetzung des Projektteams ändern, es herrschen andere Umweltfaktoren, die sich auf die Projektbedingungen auswirken oder es treffen andere Regularien zu. Somit suggerieren die Eingangsdaten eine Genauigkeit, die meist nicht zutreffend

⁷³ vgl. Fiedler, 2006, S.3ff.

⁷⁴ vgl. Medgenberg et al., S.165f.

bzw. schlicht nicht möglich ist. Im Kontrast zu der als viel aussagekräftiger als die Praktiker-Methode gelobten probabilistischen Berechnungsmethode scheint dies einen Widerspruch darzustellen. Jedoch wird in der Literatur meist nicht beschrieben, wie dieser Unschärfe quantitativ Abhilfe geleistet werden kann. Wissenschaftler der Technischen Universität München haben daher einen Versuch unternommen, diese Unschärfe mathematisch zu beschreiben. Hierfür wurde auf traditionelle Elemente des Versicherungswesens zurückgegriffen und eine Anpassung an das Management für Projekte, mit Fokus auf Bauprojekte, durchgeführt. Resultat der Berücksichtigung von Unschärfen in den Eingabewerten war jedoch eine so dramatisch steigende Unschärfe in der Aussagefähigkeit der simulierten Zielwerte, dass dieser Ansatz sich als nicht umsetzbar erwies. So wurde durch Inkludierung der geringen Anzahl von Erfahrungswerten aus gleichartigen Projekten die Verteilungsfunktion des zu erwartenden Schadens so breit, dass es nicht mehr möglich war, unter Einbeziehung eines gewünschten Konfidenzintervalls, wirtschaftlich profitable Entscheidungen zu treffen. Eine andere Herangehensweise wird von Kollegen der Technischen Universität Graz verfolgt. Von dieser Seite wird festgestellt, dass „(...) eine höhere Genauigkeit der Werte nicht zwangsläufig zu einer höheren Bestimmtheit der Ergebnisse führt“⁷⁵. D.h. es wird vorgeschlagen - anders als im Versicherungswesen, in dem statistische Datenerhebungen möglich sind - auf einfache Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Eingabewerte zurückzugreifen und gezielt zu modellieren. Dies hätte den Vorteil, den Bearbeiter nicht unnötig mit Komplexität zu strapazieren und führe zu ebenso brauchbaren Ergebnissen. Ebenso vergleichsweise harmlos sieht eine Expertengruppe im Rahmen einer Studie der Ruhr-Universität Bochum das Problem. Hier wird zur möglichst guten Eliminierung von Unschärfe in den Simulationsergebnissen darauf hingewiesen, dass es einer entsprechenden Anzahl an Iterationen bedarf. Quantitative Aussagen werden jedoch, wie in anderer Literatur, auch hier nicht getroffen. Betont wird nur, dass gerade bei Entscheidungen auf Basis von Value at Risk oder Time at Risk Werten, d.h. maximalen Abweichungen bei einem vorgegebenen Konfidenzniveau, eine hohe Anzahl an Iterationen notwendig ist, um möglichst realistische Werte zu erlangen. Zu berücksichtigen ist hier dennoch, dass die genannte Ungenauigkeit durch die Eingabewerte weiter besteht und die Simulationsergebnisse daher stets vom Projektmanager oder Experten noch kritisch beleuchtet werden sollten. Geschieht dies nicht, birgt die Scheingenauigkeit ein eigenes Risikopotential. Aus diesem Grund sollte die Risikoanalyse anhand einer Simulation auch nicht erst in letzter Minute vor der Entscheidung des Managements aufbereitet werden. Daraus könnten schwerwiegende Missinterpretationen entstehen, besonders wenn die Resultate von vorher errechneten abweichen. Weitere Verfechter der Aussagefähigkeit probabilistischer Methoden finden sich an der Technischen Universität Dresden. Hier wird eingeräumt, dass das Problem der Unsicherheit durch objektives und subjektives Wissen in den vorhandenen

⁷⁵ vgl. Sander et al., 2009, S.4

Datensätzen für die Eingabewerte vorherrscht. Dabei präsentieren sie objektives Wissen als für jeden zugängliches Wissen, das eindeutig sein kann oder Unsicherheiten bergen kann. Subjektives Wissen hingegen präsentiert sich stets mit Unsicherheiten, da die Erkenntnisse und Grundlagen nur der jeweiligen Person zugänglich sind, die diese Einschätzung macht. Wird für eine Risikotragweite nun eine Wahrscheinlichkeitsverteilung angegeben, so basiert die Entscheidung nicht zur Gänze auf sicherem, objektivem Wissen. Dass dies im Bereich realer Projekte, wie Bauprojekten, jedoch nicht den gravierenden Einfluss hat, alles in Frage stellen zu müssen, wird auf die Prognose selbst zurückgeführt. Nachdem die Prognose sich darum bemüht, die Zukunft einzuschätzen, sich jedoch jedes Bauprojekt auf individuelle, variierende Faktoren stützt, liegt die ausschlaggebende Subjektivität bereits hier. Auch alle deterministischen Werte beziehen sich auf subjektive Annahmen – sei es nur, dass ausschließlich Daten über einen bestimmten Zeitraum vorliegen und man sich auf den derzeitigen Wissenstand berufen muss. Mit Hilfe der Simulation können jedoch im Gegensatz zu deterministischen Methoden alle Wissensfaktoren berücksichtigt werden, unsicher oder sicher, und somit ist es möglich, eine ganzheitliche Kostenprognose zu erstellen.^{76,77,78}

3.5 Vorgehen bei stochastischem Projektmanagement

Um Risikomanagement zielführend mit dem Projektmanagement zu verknüpfen, bedarf es eines gut strukturierten Vorgehens. Dies soll in den folgenden Abschnitten der Reihe nach mit den zugehörigen Methoden näher erläutert werden. Dazu werden auch die bereits ausführlich beschriebenen Schritte des Projektmanagements kurz wiederholt, um ein ganzheitliches Bild des Ablaufes zu schaffen.

3.5.1 Aufstellen des Projektmodells

Zunächst muss das Projekt ausreichend beschrieben werden. Dies geschieht anhand einer Projektdefinition, die den Inhalt, Ziele sowie Nicht-Ziele, kritische Erfolgsfaktoren, Projektbeteiligte sowie eine erste grobe Kosten- und Zeitabschätzung ausweist. Auch der gewählte Projektname und -nummer sollten zur genauen Identifikation notiert werden.

Weiters sollten die Stakeholder ermittelt und nach ihrem Risikopotenzial bewertet werden. Dabei sollte auch eine Charakterisierung von wichtigen Sicherheits-, Kosten-, Qualitäts-, Umwelt- und Termin-/Ablaufkriterien erfolgen.⁷⁹

⁷⁶ vgl. Zimmermann et al., 2014, S. 272ff.

⁷⁷ vgl. Kanacher et al., 2010, S. 195f.

⁷⁸ vgl. Medgenberg, 2011, S.166ff.

⁷⁹ vgl. Altran et al., 2011, S.51

Darauf folgt die Gliederung des Projekts in einzelne Arbeitspakete, die in Form einer hierarchischen Baumstruktur in dem Projektstrukturplan, PSP, übersichtlich dargestellt werden. Zu beachten ist hierbei, dass die Arbeitspakete nicht zu detailliert ausgeführt werden sollten. Es geht lediglich um eine Aufschlüsselung in sich geschlossener Einheiten (Arbeitspakete) mit einem definierbaren Anfang und Ende, nicht um ein Runterbrechen auf einzelne Tätigkeiten. Die Arbeitspakete werden dann, wie im Punkt 2.1.2.2 erläutert, genauer beschrieben.

Mit diesem Input wird eine Arbeitspaketliste erstellt und z.B., wie in dieser Projektplanung verwendet, in MS Project in einem Gantt-Diagramm bildlich dargestellt. Je nach angestrebtem Detaillierungsgrad kann auch ein Runterbrechen der Arbeitspakete auf Vorgänge und eine Planung auf dieser Ebene erfolgen. Für die Planung in MS Project können u.a. die geplante Arbeitszeit, die Ressourceneinsätze für jedes Arbeitspaket, der geplante Anfangstermin bzw. die Verknüpfung mit dem Vorgänger mit Charakteristiken wie „so früh wie möglich“ eingegeben werden. Daraus entsteht unter Angabe der Stundensätze der Arbeitskräfte bzw. der Stückkosten für benötigtes Material u.ä. automatisch eine Kostenkalkulation, die sich über den Projektverlauf abbilden lässt. Zusätzlich lässt sich auf Basis der Daten ein Netzplan automatisch erstellen, der die Arbeitspakete und ihre Vernetzungen übersichtlich abbildet. Hier können auch die kritischen Pfade erkannt und ggf. Pufferzeiten in die Planung inkludiert werden, um eine potentielle Verzögerung im Vorfeld zu beheben. Bei MS Project stehen sowohl die PDM als auch PERT zur Verfügung. Jedoch erfolgt Letztere nur nach erfolgreichem Installieren eines zusätzlichen Add-ins. Wird der automatisch generierte Netzplan weiter verwendet, so basiert dieser lediglich auf einer schlichten, deterministischen PDM mit Vorgangsknoten.⁸⁰

3.5.2 Risikoidentifikation

Für die Risikoidentifikation, die Ermittlung aller Projektrisiken, sollte möglichst allumfassend vorgegangen werden. Um dies zu erreichen eignen sich bestimmte Methoden sehr gut, wobei die Reihenfolge der Anwendung eine bedeutende Rolle spielt. Wichtig ist es, der Intuition dabei Spielraum zu geben und anfangs ohne Wertung vorzugehen. Oft stellen gerade intuitiv erfasste Aspekte Kernpunkte dar, die wichtig für einen erfolgreichen Projektverlauf sind, aber durch rein strukturiertes Vorgehen leicht übersehen werden könnten.

Brainstorming stellt beispielsweise eine unstrukturierte, intuitive Methode dar. Hierbei werden, z.B. im Rahmen eines Risikoworkshops mit Experten bzw. auch Stakeholdern und Fachkundigen verschiedener Hierarchiestufen, möglichst viele Ideen bzw. Risiken gesammelt. Dies sollte ohne Vorbehalt oder Hemmnisse durch

⁸⁰ vgl. Marmel, 2007, S.175

Angst vor Wertung erfolgen. Aus diesem Grund ist es von Vorteil, eine nicht allzu große Gruppengröße zu wählen, die optimale Mitgliederzahl liegt bei fünf⁸¹, um die Gefahr von dominanten Meinungsmachern und Alleingängern zu vermindern. Ziel ist es, bei der Ideengenerierung eher auf Quantität anstelle von Qualität zu setzen und erwähnte Ideen wieder aufzugreifen und weiterzuentwickeln. Ist die Gruppe an dem Punkt angelangt, an dem keine weiteren Einwürfe mehr erfolgen, so kann mit der Einschätzung der genannten Risiken begonnen werden. Somit fallen im Endeffekt doch irrelevante Risiken wieder heraus und relevanten wird die entsprechende Beachtung geschenkt.^{82,83,84}

Eine alternative Vorgehensweise bietet die Delphi-Methode. Hier spricht der Gruppenleiter Experten einzeln an und bittet um deren Risikoangaben, die wiederum nur an den Gruppenleiter zurückgemeldet werden. Dieser sammelt die Daten und leitet sie anonymisiert an alle Experten weiter. Die Experten sollen nun die von den anderen genannten Aspekte in ihre Einschätzungen einfließen lassen, gegebene Kritikpunkte ggf. revidieren bzw. hierdurch unter Umständen auch zu weiteren, neuen Risikofaktoren gelangen. Der Ablauf sollte vier bis fünf Mal wiederholt und dokumentiert werden, um eine möglichst ganzheitliche Betrachtung der Risiken zuzulassen. Sinn der Separation der Fachleute ist es, eine gegenseitige Beeinflussung bei der Entscheidungsfindung zu vermeiden und somit alle denkbaren Aspekte zur Geltung kommen zu lassen.⁸⁵

Pondering, zu Deutsch Abwägen, eine weitere Möglichkeit der Risikoidentifikation, stellt wiederum eine intuitive, strukturierte Methode dar, in der Einzelpersonen befragt werden. Sie sollen anhand der vorhandenen Projektunterlagen notieren, welche Chancen und Risiken sich ihrer Meinung nach für das Projekt ergeben und welche Ursachen dafür verantwortlich sind. Erst nachdem die Einzelpersonen ihre Abwägungen abgegeben haben, werden die Risiken in der Gruppe besprochen. Dies dient wiederum der vorurteilsfreien Ideensammlung, um einen möglichst guten Überblick zu erlangen.⁸⁶

Weiters sind Risikochecklisten eine gute Methode aus der Kategorie der strukturierten, systematischen Vorgehensweisen. Jedoch sollte sie erst nach Durchführung zumindest einer der vorgehenden Methoden angewandt werden. Die Checklisten beinhalten potentielle Risiken, die auf Basis von historischen Daten oder bereits aggregiertem Expertenwissen zu einer Liste zusammengestellt wurden. Dadurch können die befragten Fachleute evaluieren, inwiefern ein gelistetes Risiko auch für das zugrundeliegende Projekt zutrifft und ggf. Bemerkungen dazu notieren.

⁸¹ vgl. Grimscheid et al., 2003, S.573

⁸² vgl. Altran et al., 2011, S.53

⁸³ vgl. Sandoval-Wong et al., 2010, S.74

⁸⁴ vgl. Grimscheid et al., 2003, S.573

⁸⁵ vgl. Altran et al., 2011, S.54

⁸⁶ vgl. Grimscheid et al., 2003, S.573

Sinnvoll ist hier eine Gliederung der Einzelrisiken nach Risikoart sowie Gruppierung unter Zuweisung eines bestimmten Anwendungsbereiches. So kann z.B. zwischen Listen für vertragliche oder technische Risiken unterschieden werden und hierbei wiederum zwischen kalkulationsbedingten Risiken, Garantien oder im technischen Bereich den benötigten Bearbeitungsschritten.^{87,88}

Desweiteren helfen Fragebögen oder Befragungen in Form von Interviews das Risikoausmaß abzuschätzen. Im Anlagenbereich wird auch die Hazard and Operability Analyse erwähnt, die ausschließlich der Ermittlung von Gefahren während des operativen Betriebs dient.^{89,90}

Gemäß der Studie der IEA zum Risikomanagement von Projekten im Bereich erneuerbarer Energien ist zudem die Erstellung eines Risikoregisters hilfreich, das Informationen zu den Einzelrisiken enthält. Hier werden in Form einer Tabelle die gesammelten Daten in den jeweiligen Risikoprozessschritten zusammengefasst. Somit können nach Abschluss der Risikoidentifikation bereits die dem Einzelrisiko zugehörigen Informationen eingetragen werden und mit denen der folgenden Schritte fortwährend ergänzt werden. Zudem ist eine dreidimensionale grafische Aufbereitung sinnvoll mit den Projektphasen auf einer Achse, den Risikokategorien „politisch“, „wirtschaftlich“, „sozial“ und „technisch“ auf einer weiteren und der Anzahl der Risiken, die den jeweiligen Bereichen dieser beiden Achsen zugeordnet werden können, auf der vertikalen, dritten Achse. So kann auf einen Blick die Phase und der Bereich mit den meisten Risiken identifiziert werden.⁹¹

3.5.3 Risikoanalyse

Zur stochastischen Risikoanalyse wird am besten eine Tabelle zur übersichtlichen Auflistung der Risiken angefertigt. Dabei sollten die Spalten das Risiko, die Risiknummer und das minimale, maximale und wahrscheinlichste Schadensausmaß beinhalten. Die genaue Ausprägung der Spalten, die das Risiko beschreiben, ist dabei individuell zu gestalten. So kann zusätzlich zum Risiko die Art der Auswirkungen (z.B. auf den Zeitplan, die Einnahmen etc.) sowie die Art der Angabe (z.B. als absoluter Wert für die Anzahl der Tage oder als Prozentsatz der Einnahmen) vermerkt werden, wie dies in Tabelle 2 gezeigt wird. Hier wird auch das Risiko mit einer ihm zugewiesenen Nummer, sowie, zur besseren Beurteilung, das Risikolevel, einem Instrument der qualitativen Risikoanalyse, angegeben. Die Angabe der Risikoart (rechtlich, finanziell etc.) und Risikogruppe (Vertragsbedingungen, Boinität, Fremdleistungskalkulation etc.) wäre ebenso noch

⁸⁷ vgl. Grimscheid et al., 2003, S.574

⁸⁸ vgl. Sandoval-Wong et al., 2010, S.74

⁸⁹ vgl. ebenda

⁹⁰ vgl. Altran et al., 2011, S.54

⁹¹ vgl. Altran et al., 2011, S.58f.

möglich.⁹² Bei umfassender Projekterfahrung kann zudem die Angabe der für die Werte gewählten Verteilungsform relevant sein. Für das hier auch in weiterer Folge beschriebene Vorgehen wird standardmäßig eine Dreiecksverteilung für alle Risiken festgesetzt. Die Begründung liegt in der im Abschnitt Risikomanagement bereits erwähnten zutreffensten Genauigkeit der Verteilung, wenn eine Datenbasis besteht, die, wie meist der Fall, nur vage Annahmen ermöglicht. Anschließend können die Werte in das Simulationsprogramm, im Fall der Analyse des Pilotanlagenprojekts in @Risk von Palisade, eingegeben werden. Wichtig bei der Interpretation der Ergebnisverteilung ist der Vergleich mit der Gauß'schen Normalverteilung. Werden mehrere etwa gleichwertige Risiken simuliert, so ähneln sich die beiden Verteilungen stark. Werden sehr wenige Eingabewerte zur Verfügung gestellt und wenige Iterationen durchgeführt, so weicht das Ergebnis ggf. deutlich ab. Der Streubereich kann aber auch sehr schmal ausfallen, mit merklichen Entfernungen zu den äußersten Worst-Case- und Best-Case-Werten, wenn sehr viele Eingabewerte vorhanden sind. Die Extremfälle, in denen alle Risiken eintreten oder keines eintritt, werden dadurch sehr unwahrscheinlich. Liegt hingegen beispielsweise eine Doppelspitze vor, so deutet dies auf ein sehr prägnantes Risiko hin, das im Gegensatz zu den anderen hervorsteht. Zusätzlich sollte berücksichtigt werden, dass bei starker positiver Korrelation der Risiken der Streubereich breiter, bei negativer Korrelation schmaler ausfällt. Prinzipiell bleiben die niedrigsten 5% und die höchsten 5% bei der Entscheidungsfindung aufgrund der Fehleranfälligkeit unberücksichtigt. D.h. für die Entscheidung, welches zusätzliche Budget für das Projekt gemäß des Risikoerwartungswertes festzulegen ist, stützt sich das risikofreudige Unternehmen auf Erwartungswerte ab dem 5%-Quantil bis in die Nähe des Erwartungswerts, das risikoaverse auf Werte knapp oberhalb des Erwartungswerts bis zum 95%-Quantil und das risikoneutrale Unternehmen wird die Kosten mit einem Wert um den Erwartungswert ansetzen.⁹³

Hat sich auf Basis der Ergebnisdiskussion eine Handlungsalternative ergeben, so kann dessen Vorteilhaftigkeit neben der genannten Betrachtungsweise auch durch Betrachtung der Integration der Ergebnisverteilung geschehen. Setzt man Maßnahmen ein, um die erwartete Risikotragweite zu reduzieren und vergleicht die integrierte Ergebnisverteilung mit jener vor der Adaptierung, so können bedeutende Schlüsse gezogen werden. Liegt die neue Funktion unterhalb der vorangegangenen, so waren die Maßnahmen hilfreich. Zudem kann mathematisch mit der Verdichtung der Verteilung gerechnet werden. Hierfür wird ein Sicherheitsäquivalent, SÄ, mit einer linearen Nutzenfunktion berechnet: $SÄ = \mu - rak \times \sigma$ (μ ...Erwartungswert, rak ...Risikoaversionskoeffizient, σ ...Standardabweichung). Je größer der Risikoaversionskoeffizient, desto risikoaverser ist der Betrachter, mit $0 \leq rak \leq 1$.

⁹² vgl. Grimscheid et al., 2003, S.575

⁹³ vgl. Schach et al., 2014a, S.257

Nimmt das Sicherheitsäquivalent nach der Einführung der Handlungsalternative einen größeren Wert an, so erfolgte die Adaptierung der Risiken zu Gunsten geringerer Aufwände.⁹⁴

Das Programm generiert in Folge der Berechnungen auch automatisch eine Sensitivitätsanalyse. Sie gibt Aufschluss über die Robustheit der Ergebnisse und zeigt an, wie stark sich die Ergebniswerte der Simulation verändern, wenn sich ein bestimmter Eingabewert, ein Einzelrisiko, ändert. Demnach kann beurteilt werden, wie einflussreich die jeweiligen Einzelrisiken sind.^{95,96}

Tabelle 2: Beispiel einer Risikotabelle zur Aggregation der nötigen Simulationsdaten⁹⁷

Nr	Risiko	Wahrscheinlichkeit	Art der Auswirkungen	Absolut/Prozent	Minimales Schadensausmaß	Wahrsch. Schadensausmaß	Maximales Schadensausmaß	Risiko-level
1								
2								
3								

Generell ist es sinnvoll, zum allgemeinen Verständnis auch Methoden der qualitativen Risikoanalyse anzuwenden. Dies dient auch der kritischen Beurteilungsfähigkeit der Simulationsergebnisse. Geeignete Methoden sind die ABC-Analyse und die Portfolio-Methode zur Risikokartierung. Grundlage für die Bewertung ist eine Risikotabelle wie sie in Tabelle 2 angegeben ist bzw. aus der Risikocheckliste resultiert. Unterschied hier ist die Angabe eines Einzelwertes für die Eintrittswahrscheinlichkeit. D.h. wenn mehrere Werte möglich sind, bedarf es einer Festlegung auf den wahrscheinlichsten Wert. So kann durch Multiplikation der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes der Erwartungswert jedes Einzelrisikos berechnet werden.

In der ABC-Analyse, auch Paretoanalyse genannt, geht es darauffolgend darum, die Risiken nach ihrem Risikoerwartungswert in drei Kategorien einzuteilen. Gerade in Bauprojekten erreicht die Anzahl der Risiken oft einen dreistelligen Wert, wodurch die Analyse aller Risiken einen unvermeidbaren Aufwand darstellen würde. Daher ist eine Selektion der wichtigsten Risiken meist unumgänglich. Risikogruppe A beinhaltet alle Risiken die kumuliert 70% bis 80%, je nach Entscheidung des Analysten, des Gesamtrisikoeerwartungswertes ausmachen. Dies sind vergleichsweise wenige Risiken, meist etwa 20%, die jedoch hohe Schadensausmaße nach sich ziehen. Sie gilt es vorrangig zu beachten. Risiken der Gruppe B, die 20% bis 15% des Risikoerwartungswertes ausmacht, sind ebenfalls beachtenswert, jedoch zweitrangig. Sie stellen bereits einen höheren Anteil der Risiken dar. Gruppe C schließlich

⁹⁴ vgl. Kanacher et al., 2010, S.197

⁹⁵ vgl. Altran et al., 2011, S.64ff.

⁹⁶ vgl. Medgenberg et al., S.169

⁹⁷ vgl. Altran et al., 2011, S.64

beinhaltet die letzten auf 100% fehlenden Prozent, 10% bis 5%. Diese Gruppe umfasst normalerweise den Großteil der Einzelrisiken, da die meisten, im Vergleich zu wenigen anderen schwerwiegenden, ein geringes Risikoausmaß aufweisen. So kann der Fokus auf die prägnantesten Risiken bei der Risikobewältigung gelegt werden.^{98,99}

Die Portfolio-Analyse dient hingegen der detaillierteren Betrachtung der Einzelrisiken in Bezug auf deren individuelle Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes. Werkzeuge hierfür sind die Darstellung des Portfolios anhand einer Risikokarte und das Einzeichnen des Wahrscheinlichkeits- und Tragweitenakzeptanzbereichs in Form von Flächen unter den jeweiligen Risikofunktionen. Die Koordinatenachsen für die Darstellungen sind der Eintrittswahrscheinlichkeit, Ordinate, und dem Schadensausmaß bzw. der Tragweite, Abszisse, zugeordnet. In einem ersten Schritt werden die Einzelrisiken gemäß ihrer Charakterisierung durch Wahrscheinlichkeit und Schadensausmaß in das Diagramm eingezeichnet. Kritische Risiken sind dabei jene, die sich im rechten oberen Bereich sammeln. Risiken im linken unteren Bereich sind hingegen unkritisch, vergleiche Abbildung 9. Einen weiteren Schritt stellt das Einzeichnen der Wahrscheinlichkeitsfunktionen des maximalen Risikoerwartungswertes dar. Hierzu wird die Formel $R_{\max} = W \times T$ (W...Eintrittswahrscheinlichkeit, T...Tragweite) nach W aufgelöst. Der resultierende Graph ist im rechten Teil der Abbildung 9 zu sehen. Durch Angabe einer maximalen Tragweite, T_{\max} , kann der Graph und damit die Fläche unterhalb des Graphen beschränkt werden. Diese Fläche gibt nun diejenigen Bereiche an, die im definierten Risikoakzeptanzbereich liegen, um T_{\max} nicht zu überschreiten. Alle Risiken, die jenseits dieses Bereiches liegen, können in der vorliegenden Form nicht toleriert werden und bedürfen Bewältigungsmaßnahmen.¹⁰⁰

⁹⁸ vgl. Grimscheid et al., 2003, S.574ff.

⁹⁹ vgl. Schach et al., 2014b, S.283

¹⁰⁰ vgl. ebenda

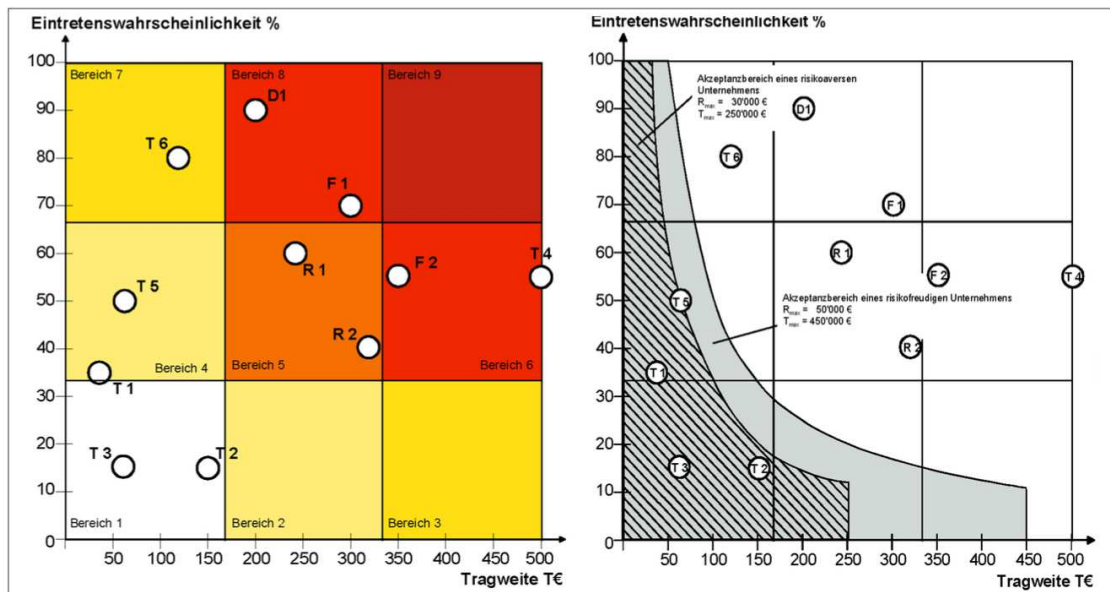


Abbildung 9: Risikoportfolio mit Darstellung der Relevanz (rot: schwerwiegend, gelb: bedeutsam, weiß: gering) und dem Akzeptanzbereich¹⁰¹

3.5.4 Risikobewältigung

Zur Risikobewältigung sind vier verschiedene Herangehensweisen möglich: Vermeidung, Verminderung, Übertragung und Akzeptanz. Hierfür gibt es an sich keine speziell entwickelten Methoden wie in den vorangegangenen Prozessschritten, jedoch sollten die Überlegungen nach der genannten Reihenfolge vorgenommen werden. Zunächst ist zu beurteilen, ob Risiken vermieden werden können. Dies könnte anhand einer Anpassung des Projektumfangs und Hinzunehmen zusätzlicher Ressourcen erfolgen. Dabei sind ständig die möglicherweise hierdurch entstehenden Zusatzkosten bei anderen Kostenstellen durch Überprüfung der Gesamtkosten im Auge zu behalten. Andere Maßnahmen könnten sein, den Informationsfluss und damit die zielführende Kommunikation zwischen den Projektmitgliedern zu stimulieren, um Risiken, die durch nicht vorhandene Absprache und Information entstehen, zu vermeiden. Oder aber, es wird für zusätzliches Know-how durch die Involvierung weiterer Experten in das Projekt gesorgt.¹⁰²

Sind Maßnahmen in diesem Bereich nicht möglich, so kann versucht werden, die Risikotragweite auf ein annehmbares Maß zu reduzieren. Das kann ggf. als sehr ressourcenaufwendig erscheinen, jedoch ist hierbei zu beachten, dass, wie bereits beschrieben, ca. 60% der Verluste in der Vorvertragsphase anfallen. D.h. man sollte sich der Verhältnismäßigkeit der Ressourcenverminderung bewusst bleiben, jedoch gleichzeitig berücksichtigen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Behebung bei Eintritt eines Risikos im Verlaufe des Projekts wesentlich ressourcen- und kostenintensiver als gedacht ausfallen kann. Im Bereich erneuerbare Energien und

¹⁰¹ vgl. Grimscheid et al., 2003, S.575

¹⁰² vgl. Altran et al., 2011, S.75ff.

junge Technologien konnte beispielsweise beobachtet werden, dass es als Risikoverminderungsmaßnahme sinnvoll ist, die Planungen der Technologieentwicklung mit jener des Risikomanagementverantwortlichen abzugleichen, um die Risikostrategie passend zu wählen.¹⁰³

Bei der Risikoübertragung ist die Abgabe von Risiken an ein Versicherungsunternehmen eine geeignete Maßnahme. Es kann sich aber auch um Übertragung auf Vertragspartner oder weitere Dritte, wie bei Back-to-Back-Regelungen, laut denen auf ein Nachunternehmen übertragen wird, handeln. Wichtig dabei ist lediglich, dass derjenige, auf den die Risiken übertragen werden, fähiger ist mit dem Risiko umzugehen als die Ausgangsperson. Gemäß den unterschiedlichen Bedürfnissen in den verschiedenen Projektphasen werden unterschiedliche Versicherungen angeboten. Im Bereich erneuerbare Energieanlagen bestehen beispielsweise für die Planungsphase Rückbaubürgschaften, Pachtzahlungsbürgschaften, Rechtsschutzversicherungen, D&O-Versicherungen (offizielle Abkürzung aus dem Englischen für Directors and Officers), d.h. spezielle Haftpflichtversicherungen von leitenden Verantwortungsträgern im Unternehmen, oder Minderertragsversicherungen. Für die Errichtungsphase werden unter anderem Transport-, Bauherrenhaftpflicht-, Montage- und Montage-Betriebsunterbrechungsversicherungen angeboten. In der Betriebsphase könnten Versicherungen wie die Umwelthaftpflicht-, Maschinen-, Betreiberhaftpflicht und die Maschinenbetriebsunterbrechungsversicherung zum Tragen kommen. Inwiefern sich die jeweiligen Versicherungen für ein Unternehmen als finanziell vorteilhaft erweisen muss je nach Projekt individuell beurteilt werden. Angemerkt sei auch, dass sich aus der Risikoübertragung Sekundärrisiken wie Zahlungsunfähigkeit durch Konkurs des Versicherers ergeben können.^{104,105,106}

Der letzte Schritt ist die Risikoakzeptanz. Risiken, die akzeptiert werden, sprechen entweder auf keine andere Maßnahme an, die Belastung durch geeignete Maßnahmen steht in keiner Relation zum darausgezogenen Nutzen oder sie bestehen aus Restrisiken in Folge der Risikoverminderung oder Sekundärrisiken. Für diese ist es essentiell, eine funktionierende Risikokontrolle einzurichten sowie Rückstellungen einzukalkulieren. Dabei können Risikorückstellungen finanzieller, zeitlicher oder anderer ressourcenbezogener Natur sein. Eine Einschätzung über deren Höhe geben wiederum die Ergebnisse der Risikosimulation. Sind alle Maßnahmen getroffen, werden die Eingabewerte in Form des Restrisikos im Simulationsprogramm aktualisiert und eine neue Simulation mit entsprechender Iterationszahl durchgeführt. Der Erwartungswert bzw. die Verteilung im

¹⁰³ vgl. ebenda

¹⁰⁴ vgl. Kallerhoff, 2012, S.7

¹⁰⁵ vgl. Grimscheid et al., 2003, S.577

¹⁰⁶ vgl. Altran et al., 2011, S.75ff.

Konfidenzintervall geben folglich Aufschluss, wie hoch die Rückstellung je nach Risikopräferenz ausfallen sollte.¹⁰⁷

3.5.5 Risikoüberwachung

Die Risikoüberwachung ist ein essentieller Schritt, der das gesamte Projekt über die Laufzeit begleiten sollte. Dafür stehen wiederum mehrere Herangehensweisen zur Verfügung. Am einfachsten sind das Kostenverlaufdiagramm und die Meilensteintrendanalyse. Hierfür wird auf eine Achse eines Diagramms der geplante Wert eingetragen und auf die zweite das jeweilige Betrachtungsdatum im Projektverlauf. Anhand der Momentaufnahmen und den so dargestellten Änderungen des Solls über die Zeit, können Risiken einigermaßen gut überwacht werden. Jedoch hat die isolierte Betrachtung der Kosten und Termine, auf das gesamte Projekt bezogen, eine geringe Aussagefähigkeit, da jegliche Interdependenz ignoriert wird.¹⁰⁸

Eine weitere etablierte Methode, die jedoch wesentlich genauere Angaben liefert, ist die Earned-Value-Analyse (EVA). Aufgrund der Charakteristik des stochastischen Projektmanagements möglichst realitätsnahe Aussagen zu erzielen ist die EVA die einzig sinnvolle Vorgehensweise bei der Projektüberwachung, vor allem in Anbetracht hochgradig neuartiger, mit markanten Unsicherheiten belasteten Vorhaben. Es werden bei den Berechnungen die Planwerte und Istwerte einzelner Arbeitspakete miteinbezogen sowie die kumulierten Werte bereits ausgeführter Arbeitspakete, dem Earned Value. Somit sind alle drei Faktoren - Kosten, Arbeitsleistung und Zeit - bei der Kalkulation abgedeckt. Weiters ist nicht nur eine vergangenheitsorientierte, sondern auch eine zukunftsorientierte Betrachtungsweise der Faktoren möglich. Nachteilig ist bei der EVA in ihrer Ursprungsform jedoch die Arbeitspaket-Fortschrittsgenauigkeit. Angaben können nur in den Sprüngen 0% und 100% erfolgen. D.h. erbrachte Leistungen erlangen in der Berechnung erst dann Beachtung, wenn das jeweilige Arbeitspaket abgeschlossen ist. Befindet sich die Leistungserbringung z.B. bei 70% des für das Arbeitspaket angedachten Gesamtpensums, so wird das Arbeitspaket noch zu 0% in den Earned Value einbezogen. Aus Bemühungen zur Behebung bzw. Abmilderung des Problems haben sich daher Weiterentwicklungen der EVA ergeben, die im Verlauf noch näher beschrieben werden.^{109,110}

Bei der vergangenheitsorientierten Projektüberwachung dient die EVA neben dem Aufweisen von Rückständen oder Vorsprüngen zur Zuweisung der Abweichungsursachen. Dafür wurden vier zentrale Werte definiert:

¹⁰⁷ vgl. ebenda

¹⁰⁸ vgl. Strickmann, 2008, S.55

¹⁰⁹ vgl. Strickmann, 2008, S.52

¹¹⁰ vgl. Menze, 2013, S.69

Der Wert AC (abgekürzt für Actual Costs) stellt die tatsächlich bis zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgetretenen, kumulierten Kosten dar, die durch das Abschließen von Aktivitäten, Arbeitspaketen oder andere Leistung am Projekt entstanden sind.¹¹¹

Hinter der Variablen PV (abgekürzt für Planned Value) steht im Gegensatz dazu der in der anfänglichen Planung für die Budgetkalkulation bestimmte Wert für einen definierten Zeitpunkt im Projektverlauf. Eine ältere Bezeichnung hierfür ist „Budgetkosten der erledigten Arbeit“ (im Englischen BCWS für Budgeted Cost of Work Scheduled). Eingezeichnet in einem Zeit-Kosten-Diagramm entspricht die Kurve mit dem kumulierten Wert aller abgeschlossenen Aktivitäten, Arbeitspakete oder anderen Leistungen am Projekt dem termingerichteten Budgetbasisplan. Oft wird das Diagramm wegen seiner Form als S-Kurve bezeichnet, mit anfänglich geringen anfallenden Kosten, dann steil steigenden und dann wiederum eher geringen Kosten gegen Projektende. Dieser Graph kann in Folge zur Orientierung und Kennzeichnung von Abweichungen genutzt werden.¹¹²

Die ursprünglich geplanten Gesamtkosten des Projekts, ausgedrückt durch BAC (abgekürzt für Budget at Completion), bilden das Maximum und somit den letzten Punkt der PV-Kurve.¹¹³

Der Earned Value (EV) repräsentiert schließlich den kumulierten Fertigstellungswert von Aktivitäten, Arbeitspaketen oder andere Leistungen im Projekt zu einem bestimmten Zeitpunkt im Projektverlauf. Er setzt sich dabei aus dem jeweils zu diesem Zeitpunkt dafür angesetzten Budget, dem PV, und Fertigstellungsgrad in Prozent zusammen. Sind für ein Arbeitspaket beispielsweise EUR 60.000 angesetzt und es sind zu einem bestimmten Zeitpunkt bereits 70% der Leistungen ausgeführt, so errechnet sich der EV zu $\text{EUR } 60.000 \times 0,7 = \text{EUR } 42.000$.¹¹⁴

Für die Charakterisierung der Termin- oder Kostenabweichungen kann nun der EV mit dem PV bzw. mit dem AC anhand von Varianz-, Varianzprozentsatz- oder Leistungsindizesangaben verglichen werden. Zu ersteren Angaben zählt die Cost Variance (CV), die sich berechnen lässt durch $CV = EV - AC$. Hierdurch wird angegeben, wie sehr sich die aktuellen Kosten von den geplanten Kosten bei vorliegendem Fortschrittsgrad unterscheiden. Ist der Wert negativ, so sind mehr Kosten angefallen als ursprünglich geplant waren. Des Weiteren ist die Angabe der Leistungsvarianz, infolge von abweichendem Fortschritt bzw. Leistung, in Form der Schedule Variance (SV) mit $SV = EV - PV$ möglich. D.h. es wird der für einen bestimmten Zeitpunkt geplante Wert dem momentanen Wert bei tatsächlichem

¹¹¹ vgl. Menze, 2013, S.69f.

¹¹² vgl. Anbari, 2003, S.13

¹¹³ vgl. ebenda

¹¹⁴ vgl. ebenda

Arbeitsfortschritt gegenüber gestellt. Dadurch ist zu sehen, ob der geplante Wert schon erreicht wurde oder der EV noch unter dem PV-Wert liegt und somit der Terminplan nicht wie geplant eingehalten wurde, woraus sich Verzögerungen ergeben. Erlangt der SV einen positiven Wert, so würde dies auf einen schnelleren Projektfortschritt als geplant hinweisen. Zeitlich konkretisiert kann diese Abweichung durch die Time Variance (TV) werden. Dabei handelt es sich, angegeben als Zeiteinheit, um das Verhältnis der SV zur PV-Rate, mit der PV-Rate als durchschnittlichem PV-Geldwert pro Zeit. Die PV-Rate entspricht den ursprünglich geplanten Gesamtkosten durch die ursprünglich geplante Gesamtdauer des Projekts (SAC für Schedule at Completion): $PV\text{-Rate} = BAC / SAC$. Damit ergibt sich TV zu $TV = SV / PV\text{-Rate}$. So kann angegeben werden, wie viele Wochen Projektverzögerung durch die vorherrschende, monetär ausgedrückte Schedule Variance insgesamt entstehen. Die drei Varianzangaben können zum Zweck einer Trendanalyse in einem Diagramm über die Ordinate aufgetragen und für die einzelnen Zeitpunkte gemäß der Zeit-Abszisse eingezeichnet werden.¹¹⁵

Varianzprozentangaben lassen sich über den Kostenvarianzprozentsatz (CVP für Cost Variance Percent) und den Terminplanvarianzprozentsatz (SVP für Schedule Variance Percent) angeben. Ersterer ermittelt sich über $CVP = CV / EV$. Es wird also die Kostenabweichung für z.B. ein Arbeitspaket ins Verhältnis gesetzt mit den Kosten die zu dem Arbeitspaket-Fortschrittsgrad angedacht waren. Für die Berechnung des Terminplanvarianzprozentsatzes gibt es zwei Herangehensweisen. Gemäß dem Project Management Institute setzt der SVP den monetär ausgedrückten momentanen Fortschritt ins Verhältnis mit dem ursprünglich geplanten: $SVP = SV / PV$. Der zweite Ansatz ähnelt eher dem des CVP mit $SVP_{EV} = SV / EV$, d.h. die monetäre Zeitabweichung wird in Verhältnis zum momentanen Fertigstellungswert gebracht.¹¹⁶

Leistungsindizes lassen sich ebenfalls sowohl für Kosten als auch den Terminplan angeben und dienen als Effizienzangaben. Dabei wird für den Kostenleistungsindex (CPI für Cost Performance Index) der Fertigstellungswert den tatsächlich entstandenen Kosten gegenüber gestellt: $CPI = EV / AC$. Für den Terminplanleistungsindex (SPI für Schedule Performance Index) wird der Fortschrittswert dem budgetierten Wert gegenübergestellt: $SPI = EV / PV$. So kann indiziert werden, wie viel bereits erledigt wurde im Vergleich zum Plan bzw. wie viel zu dem Zeitpunkt erledigt sein sollte. Somit sind für die beiden Indizes Werte größer eins Hinweise auf Vorsprünge gegenüber dem Basisplan und damit sehr positiv zu bewerten, der Wert eins ein Zeichen für Plankonformität und Werte kleiner eins sind für Verzögerung negativ einzustufen. Aus den zwei Indizes kann wiederum durch Multiplikation ein weiterer gebildet werden – der Cost-Schedule-Index (CSI) oder

¹¹⁵ vgl. Anbari, 2003, S.14

¹¹⁶ vgl. ebenda

auch Critical Ratio (CR): $CR = SPI \times CPI$. Er zeigt den Gesamtzustand des Projekts auf – ob es sich im Kosten- und Zeitplan befindet oder diesen über- oder unterschreitet. Dabei gelten wieder die gleichen Bereiche mit eins „nach Plan“ und kleiner eins „in Verzug“. Wie bei den Varianzen ist es auch bei den Indizes sinnvoll den zeitlichen Verlauf der Werte abzubilden, um einen Trend erfassen zu können. Ebenso kann hierbei die Einteilung in verschiedene Dringlichkeitsstufen nach dem Ampelprinzip hilfreich sein. Dementsprechend wären alle Werte größer und gleich eins im grünen Bereich, Werte unter eins und größer 0,8 im gelben und alle darunter liegenden Werte im roten Bereich. Gelb deutet daraufhin, dass Handlungsbedarf besteht und Ursachen für den mangelhaften Projektstatus gefunden und eliminiert werden müssen. Rot hingegen bedeutet, dass es einer eingehenden Problemwidmung bedarf, die auch analysiert, warum die Schwierigkeiten nicht bereits in der Gelbphase entdeckt bzw. behandelt wurden. Befinden sich die Indizes im grünen Bereich, so besteht kein Handlungsbedarf. Es könnte jedoch vermerkt werden, was die Ursachen für die guten Ergebnisse waren. Feinere Untergliederungen sind zudem auch möglich. Beispielsweise könnte noch orange eingeführt werden, um aufzuzeigen, dass hier bereits eine Problemanalyse vorangegangen ist, oder blau, um besonders gute Ergebnisse über 1,2 zu kennzeichnen. Diese sollten auf jeden Fall dokumentiert werden, um von diesen Best-Practice-Szenarien für die Zukunft lernen zu können.¹¹⁷

Dazu gibt es wie eingangs erwähnt die Möglichkeit, zukunftsorientierte Aussagen anhand der EVA zu treffen. Dies wird durch die Berechnung der erwarteten Gesamtkosten zum aktuellen Zeitpunkt (EAC für Estimate at Completion) möglich. In seiner Grundform setzt sich der EAC zusammen aus den kumulierten tatsächlich auftretenden Kosten und den erwarteten Restkosten zum aktuellen Zeitpunkt (ETC für Estimate to Completion). Je nach Betrachtungsweise bestehen hier mehrere Berechnungsansätze bzw. Modifikationen. Einen eher optimistischen Ansatz stellt $EAC_{opt} = BAC - CV$ dar. Hierbei wird davon ausgegangen, dass Probleme aus der Projektvergangenheit nicht nochmals auftreten und sich der zukünftige Verlauf an den Prognosen des Basisplans orientiert. In der ungekürzten Form würde die Berechnung also den kumulierten ACs summiert mit den verbleibenden Kosten nach Basisplan (BAC - EV) entsprechen. Ein realistischer Ansatz wäre $EAC_{real} = BAC / CPI$ unter der Annahme, dass Schwierigkeiten der Vergangenheit auch künftig vorherrschen werden. Dies entspricht in der Reinform der Berechnung des EAV_{opt} mit einem durch Division mit CPI leistungsangepassten ETC. Gemäß empirischen Studien, trifft der hierdurch ermittelte EAC mit nur 10% maximaler Abweichung zu, wenn die Berechnung nach dem ersten Fünftel des Gesamtprojektfortschritts durchgeführt wird. Grund dafür ist die Stabilität des CPI ab dieser Projektphase. Der eher pessimistische Fall wird durch $EAC_{pess} = AC + ETC_s$ beschrieben. D.h. die auf

¹¹⁷ vgl. Anbari, 2003, S.14ff.

Grundlage des Basisplans ermittelten Restkosten werden durch CR zu $ETC_s = (BAC - EV) / CR$ angepasst. Den ermittelten Zahlenwerten dieser Annahme gehen Kostenschätzungsmethoden mit im Laufe des Projekts gesammelten Eingangswerten voraus. Zudem wird davon ausgegangen, dass die Tendenz vorherrscht, zum Basisplan bei Abweichungen zurückzugelangen, auch wenn dies Mehr- oder Minderaufwände in Form von Ressourcen bedeutet. Zur Beurteilung ist das Verständnis wichtig, dass $EAC = BAC$ bedeutet, dass die Projektgesamtkosten genau im Plan liegen. Wäre EAC um ein Vielfaches größer als BAC, so wäre deutlich, dass während des bisherigen Projektverlaufs zu träge auf Warnsignale reagiert wurde und ein positiver Projektabschluss nahezu oder gänzlich auszuschließen ist.^{118,119}

Eine Weiterentwicklung der EVA ist die Earned Schedule Methode (ESM). Diese entspringt der Tatsache, dass über den SV bzw. SPI zu Projektende keine Aussage bzgl. des entstandenen Zeitverzugs besteht, da die Werte lediglich null bzw. eins annehmen ohne weitere Anmerkungen. In der ESM wird demnach nach abgeschlossenen ursprünglich angesetzten Perioden $t+n$ bewertet. Der Earned Schedule (ES) setzt sich aus den kumulierten vollständig (C) sowie unvollständig (I) realisierten Perioden zusammen: $ES = C + I$ mit $I = (EV_{AT} - PV_t) / (PV_{t+1} - PV_t)$ entsprechend Abbildung 10. Der EV_{AT} , der EV zum Zeitpunkt der Ermittlung (AT für Actual Time), sollte dabei immer größer PV_t und kleiner PV_{t+1} sein. Dementsprechend anders gestalten sich die vergangenheits- und zukunftsorientierten Berechnungen der ESM. Bei Ersterem ergibt sich die zeitabhängige Terminplanvarianz $SV(t)$ zu $SV(t) = ES - AT$, die zum Zeitpunkt bereits benötigte Zeit ist abgezogen von der Zeit, die für das Ergebnis hätte benötigt werden sollen. Der zeitabhängige Terminplanleistungsindex $SPI(t)$ erschließt sich aus $SPI(t) = ES / AT$ und stellt die für den Planwert zu benötigende Zeit im Verhältnis zur benötigten Zeit dar. Das Ergebnis sind somit Werte in Zeit- statt Geldeinheiten, die auch zu Projektende Abweichungen darstellen können. Zukunftsorientiert ähneln die Formeln für die erwartete Gesamtdauer, $EAC(t)$, ebenfalls jenen der durch die EVA angesetzten EAC-Kalkulation, jedoch mit der geplanten Dauer (PD für Planned Duration) anstelle der geplanten Gesamtkosten (BAC). Ebenso ändern sich alle auf die Kosten bezogenen Begriffe auf Zeit bezogene – d.h. CV wird zu $SV(t)$, CPI wird zu $SPI(t)$ im Fall der realistischen Berechnung, AC wird zu AT, EV zu ES und SPI im Fall des pessimistischen Ansatzes zu $SPI(t)$.¹²⁰

¹¹⁸ vgl. Anbari, 2003, S.16f.

¹¹⁹ vgl. Menze, 2013, S. 70f.

¹²⁰ vgl. Menze, 2013, S. 70ff.

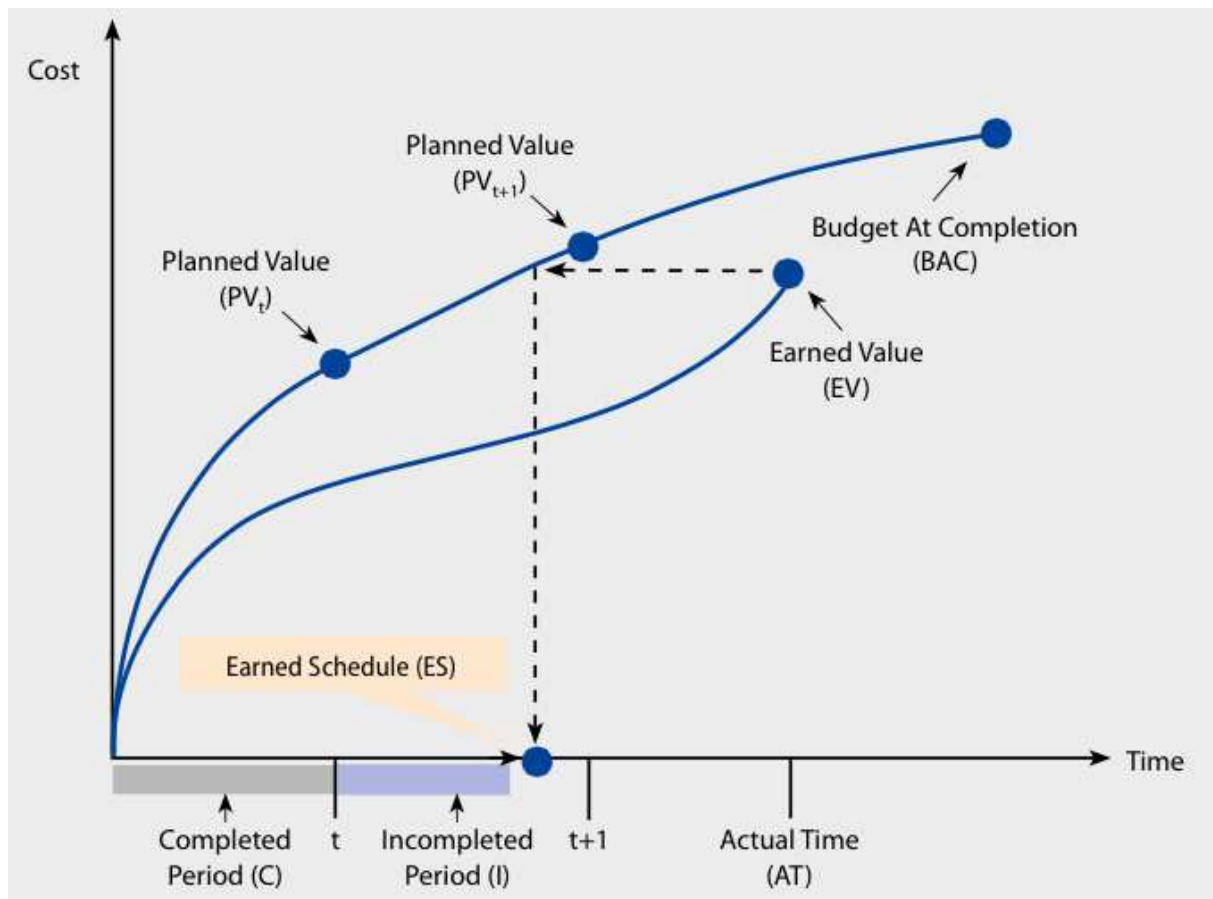


Abbildung 10: Grafische Earned Schedule Berechnung¹²¹

Eine weitere Variante zur ursprünglichen EVA ist die Hinzunahme von Qualitätsdaten. Ausgangslage ist die Anfechtung der CPI-Stabilitätsbehauptung nach 20% Projektfortschritt, mit der Erklärung von Qualitätsinstabilitäten. Demnach werden nicht erfüllte Qualitätskriterien und damit verbundene Kosten nicht in der Berechnung beachtet. Daher wird vorgeschlagen, einen zusätzlichen Summanden, Extra Cost Estimate to Complete (ECX), zu der EAC Berechnung nach der EVA hinzuzunehmen. ECX wird in Geldeinheiten angegeben und besteht aus der Subtraktion der zum aktuellen Zeitpunkt erwarteten Gesamt-Nichterfüllungskosten von den geplanten Gesamt-Nichterfüllungskosten.¹²²

Neben der EVA kann auch ein multimodellbasiertes Risikomanagement durchgängig durchgeführt werden. Diese basiert auf den genannten Prinzipien der Risikoanalyse, verbindet die einzelnen Einflussfaktoren, die oft separat bearbeitet werden, durch ein Modell. Hierdurch werden bei Änderungen einzelner Parameter verschiedener Einflussbereiche Aktualisierungen automatisiert und es kann auf hohen Koordinationsaufwand und Einzeleingaben verzichtet werden. Die Daten können bei gutem Kommunikationsfluss daher jederzeit aktuell abgerufen und beurteilt werden. Mögliche Programmvarianten sind durch das Forschungsprojekt Mefisto, das vom

¹²¹ vgl. Menze, 2013, S. 72

¹²² vgl. Diniz de Souza et al., 2013, S.192ff.

Deutschen Bundesministerium für Forschung und Bildung gefördert wird, und RIAAT, eine Entwicklung der Technischen Universität Graz, gegeben.^{123,124,125}

3.5.6 Risikocontrolling

Risikocontrolling ist im Endeffekt eine Betrachtungsebene über den vorangegangenen Risikoprozessschritten. Hierbei werden die Bereiche Risikoidentifikation, -analyse, -bewältigung und -überwachung überblickt und so die Entscheidungsgrundlagen für das Management aufbereitet. Dabei verbindet es die Bereiche und stellt Informationen aus einer ganzheitlichen Perspektive zur Verfügung.^{126,127}

3.6 Softwarelösung @Risk

Um Simulationen durchführen zu können, werden geeignete Softwarelösungen benötigt. Eine gängige Variante, die auf die Monte Carlo Simulation zurückgreift, bietet Palisade mit der Software @Risk. Es können somit Projekte direkt in Excel geplant und analysiert oder aber erst in Microsoft Project modelliert und schließlich in Excel mit @Risk-Add-In importiert werden. Der Vorteil der zweiten Methode liegt darin, dass die Daten, die im Laufe der Projektplanung in Microsoft Project bearbeitet wurden, ohne zusätzliche Doppelarbeit eingebunden werden können. Sind die Daten importiert, so können der kalkulierten Dauer und den Kosten Verteilungen zugewiesen werden. Dies schwächt das Problem der schlechten Vorhersagbarkeit genauer Werte ab. In der Projektplanung wird für gewöhnlich mit fixen Werten gerechnet, wobei die Tatsache, dass eine solche Determinierung normalerweise nicht den realen Daten entspricht, nicht berücksichtigt werden kann. Mit @Risk wird es nun möglich, diesen Daten Verteilungen zuzuweisen, die den fixierten Wert mit möglichen absoluten oder prozentualen Abweichungen charakterisieren. Werden die Werte anschließend in mehreren Iterationsschritten simuliert, so werden diese Abweichungsmöglichkeiten mit der zugehörigen Wahrscheinlichkeit berücksichtigt. Ebenso ist es möglich, die erfassten Risiken mit ihren Verzögerungs- und Kostenwerten mit einzubeziehen. Hierfür müssen die Risiken mit ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit sowie der maximalen, höchstwahrscheinlichen und minimalen Tragweite in Bezug auf Kosten und Dauer eingetragen werden. Über spezielle @Risk-Formeln können infolge die Werte den Kosten- und Dauerangaben aus der Projektplanung zugewiesen werden. Eine Simulation aller Werte ergibt dann die Wahrscheinlichkeitsverteilung der zu untersuchenden Werte unter Angabe des Konfidenzintervalls. Typische zu simulierende Werte wären hierbei die zusätzlich

¹²³ vgl. Pruvost et al., 2014, S.241ff.

¹²⁴ vgl. Scherer, 2012, S.2ff.

¹²⁵ vgl. Sander et al., 2013, S.1ff.

¹²⁶ vgl. Sandoval-Wong et al., 2010, S. 79

¹²⁷ vgl. <http://www.daswirtschaftslexikon.com/d/risikocontrolling/risikocontrolling.htm>

benötigten Tage sowie Kosten, die aufgrund von aufgetretenen Risiken zum Tragen kommen. Ebenso die Gesamtdauer und die Gesamtkosten. Anhand der jeweiligen Verteilungen kann in weiteren Schritten abgeschätzt werden, ob weitere Maßnahmen zur Risikobewältigung von Nöten sind bzw. mit welchen Kosten und welcher Projektdauer realistischerweise geplant werden kann.

Die Softwarelösung bietet jedoch nicht die Option, Parallelitäten zu berücksichtigen. Wenn z.B. zwei Risiken gleichzeitig auftreten und auch gleichzeitig behoben werden können, fließt trotzdem die Gesamtsumme der zusätzlichen Tage der Risiken in die Simulation mit ein. Genauso verhält es sich mit den Kosten. Treten Risiken gemeinsam auf, so könnten die Auswirkungen in der Realität ggf. mit einem geringeren Aufwand zeitgleich behoben werden, als sich aus der Summe der Kosten pro Risikoeintritt ergibt. Auch Ausschlusskriterien können nicht berücksichtigt werden. Tritt ein Risiko ein, so kann dies das Auftreten von bestimmten anderen Risiken ausschließen. Wird beispielsweise das Betreiben einer Anlage durch ein eingetretenes Risiko verhindert, so können keine betriebsbedingten Risiken mehr eintreten, da die Anlage stillgelegt ist. Diese Beschränkung auf parameterstochastische Analysemöglichkeiten führt zu wesentlichen Ungenauigkeiten in den Ergebnissen. Eine Lösung dieser Probleme bringen jedoch auch weitere auf dem Markt befindliche Softwarepakete nicht. In dieser Arbeit wurde daher trotzdem auf @Risk zurückgegriffen. Es empfiehlt sich jedoch eine weiterführende Projekt- bzw. Risikoanalyse unter Verwendung von GPSS, eine selbst zu programmierende Variante, die von Katzenberger ausgearbeitet wurde. Diese ermöglicht zusätzlich zur Parameterstochastik die Berücksichtigung von ablaufstochastischen Aspekten.

3.7 Risikoanalyse für die Solabolic-Pilotanlage

3.7.1 Projektdefinition

Gemäß den Anforderungen des Projektmanagements ist am Anfang des Projekts eine Projektdefinition zu Zwecken der Übersichtlichkeit und Eindeutigkeit nötig.

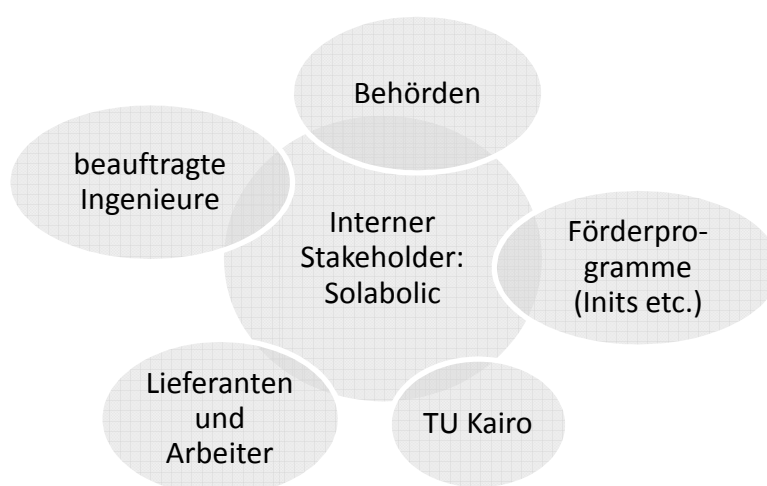
Projektdefinition			
Projektname	SolabolicPilot	Projektnummer	001
Ausgangssituation und Problemstellung für das Projekt			
Solabolic, ein in 2013 gestartetes F&E Projekt sowie Existenzgründungsvorhaben, hat eine neue Parabolspiegelkonstruktion entwickelt – ein Produkt, das sich dem Technologiebereich Concentrated Solar Power (CPS) zuordnen lässt. Nach diversen FE-Analysen und Bau eines Prototyps in Miniaturformat werden nun Tests an einer Pilotanlage unter realen Konditionen angestrebt. Für die Installation einer Pilotanlage an einem geeigneten Standort in Ägypten besteht bereits ein Memorandum of Understanding zwischen der TU Wien, dem Ägyptischen Ministerium für Höhere Bildung und Solabolic. Aufgabe ist es nun, den Bau der Pilotanlage zu planen und die Kosten sowie Dauer so realistisch wie möglich zu prognostizieren.			
Projektziele			
Sachziele	Projektmanagement mit Risikoanalyse in der Projektstartphase		
Formalziele	Die Kostenprognose soll so realistisch wie möglich gestaltet sein. Die Dauer soll so realistisch wie möglich gestaltet sein. Es sollen somit nicht übermäßige Puffer oder Rücklagen benötigt werden. Es soll sich um eine Single-Loop Anlage handeln mit einem Wärmetauscher zur Schaffung der nötigen Temperaturdifferenz.		
Nicht-Ziele	Die Anlage soll nicht zur Elektrizitätserzeugung ausgelegt sein – somit keine Netzeinspeisung. Die Anlage soll nicht zu kommerziellen Zwecken genutzt werden. Keine Berücksichtigung von Aufgaben nach Inbetriebnahme.		
Inhaltliche Projektbeschreibung			
Um das Projekt starten zu können, muss eine Koordination mit den Stakeholdern erfolgen. Der genaue Aufstellungsort, die Finanzierung, amtlich notwendige Schritte müssen abgeklärt werden etc. Zudem bedarf es einer weiterführenden Produktsimulation, Komponentenauswahl und -bestellung, Vorbereitung der Komponenten sobald diese eingelangt sind sowie dem Transport zum Anlagenstandort. Parallel sollte der Standort vorbereitet und letztendlich der Kollektor errichtet werden. Während der gesamten Zeit soll ein Projektmanagement eingerichtet sein, das die einzelnen Projektphasen überwacht und kontrolliert.			
Zeitliche Abgrenzung			
Ereignis (Entscheidung, Meilenstein)			Datum
Projektstart			10.03.2015
Organisatorisches abgeschlossen			16.11.2015
Komponenten alle geliefert			21.08.2015
Komponenten versandfertig			02.10.2015
Standort vorbereitet			10.11.2015
Lieferung vor Ort			25.02.2016
Pilotanlagenaufbau abgeschlossen			11.03.2016
Organisatorische Abgrenzung			
Projektauftraggeber	Ahmed Adel	Solabolic-Gründer	
Projektleiter	Ahmed Adel	Projektleiter	
Projektteam		Ingenieur 1 Ingenieur 2 Ingenieur 3 Sekretär Buchhalter CTO CFO Projektmanager	

Kostenabgrenzung		
Personalkosten		
In Tausend EUR	Budgetierte Kosten	Bemerkungen
Personalkosten	EUR 420.000	interner Verrechnungssatz
Kosten Dritte	EUR 13.250	Baufirma
	EUR 6.750	Mechaniker
	EUR 2.250	Elektriker
	EUR 6.750	Installateur
Sachkosten	EUR 136	Montagezelt
	EUR 15.987	Spiegel
	EUR 434	Material Infrastruktur
	EUR 526	Material Landbearbeitung
	EUR 9.742	Absorberrohre und Anschlüsse
	EUR 2.510	Fundament und Profile
	EUR 1.937	Elektronik
EUR 280	Kleinkomponenten	
Reisekosten	EUR 12.000	
Sonstige Kosten	EUR 12.000	Aufenthaltskosten
Gesamt	EUR 504.552	
Kritische Erfolgsfaktoren		
Erlangung eines geeigneten Aufstellungsortes, der nicht zu viel Bearbeitung/Päpartion bedarf und gut zugänglich ist sowie Bewilligung der Förderung		

3.7.2 Stakeholderanalyse

Werden alle Parteien analysiert, die auf das Projekt Einfluss haben könnten, so kommt man auf sechs Stakeholder, die in Abbildung 11 in Clusterform dargestellt sind: Förderprogramme, beauftragte Ingenieure, Behörden, Lieferanten und Arbeiter, die Technische Universität Kairo sowie Solabolic als interner Stakeholder.

Abbildung 11: Stakeholder des Solabolic Pilotanlagenprojekts



Die externen Stakeholder sollten gemäß ihrem Einflussgrad und den erwarteten negativen oder positiven Einstellungen in Kombination mit den möglichen Auswirkungen bewertet werden. Die Bewertung erfolgt dabei mit Werten von eins bis

drei entsprechend geringerer oder höherer Gewichtung. Dem Ergebnis dieser Bewertung entspricht die Risikoprioritätszahl. Diese nahm bei der Stakeholderauswertung für das Pilotanlagenprojekt durchwegs gemäßigte Werte an. Lediglich der Einfluss der Förderprogramme ist kritisch zu beurteilen, da ihre Einstellung zum Projekt erhebliche Auswirkungen haben könnte. Daher ist hier besonders auf einen guten Kontakt mit den Ansprechpartnern zu achten – eine Maßnahme, die sich auch für alle anderen Stakeholder anwenden lässt. Bei Lieferanten und Arbeitern sollte zusätzlich mit Pufferzeiten für das Projekt kalkuliert werden, um etwaige Einflussnahme dieser Stakeholder in Form von Terminverzögerungen abfedern zu können. (Siehe Tabelle 3)

Tabelle 3: Einfluss der Stakeholder

Person / Interessensgruppe	Bedeutung, Macht, Einfluss	Einstellung zum Projekt	Auswirkungen	Risikoprioritätszahl	Maßnahmen
	(1/2/3)	(1/2/3)	(1/2/3)	(1-27)	
Behörden	3	1	2	6	Frühzeitiges Kontaktieren, nachfolziehbarer Unternehmensplan
TU Kairo	3	1	2	6	Pflegen des guten Kontakts
Lieferanten/ Arbeiter	3	1	2	6	Frühzeitige Terminvereinbarung, Einplanen von Pufferzeiten
Beauftragte Ingenieure	2	2	1	4	Pflegen des guten Kontakts
Förderprogramme	3	2	3	18	Pflegen des guten Kontakts, nachfolziehbarer Unternehmensplan

3.7.3 Projektstrukturplan

Der PSP des Pilotanlagenprojekts, in dem die einzelnen Teilaufgaben des Projekts in übersichtliche, klar inhaltlich definierte Arbeitspakete unterteilt werden, kann entsprechend Abbildung 12 dargestellt werden. Während diese Ansicht der Übersicht in Form der herkömmlichen Baumstruktur dient, kann eine genauere Darstellung der Elemente in Anhang 7 eingesehen werden. Dabei wurde nach inhaltlicher Zusammengehörigkeit der Arbeiten unterteilt, wodurch sich eine Untergliederung der obersten Hierarchieebene in Stakeholder-Kontakte, Organisatorisches, Projektmanagement, Bestellungen, Komponenten vorbereiten, Standortvorbereitung, Transport und Montage ergibt. Die weitere Aufschlüsselung bezieht sich auf die im Rahmen der Elemente der obersten Ebene auszuführenden Arbeitspakete. Mit dieser relativ groben Einteilung der zu erledigenden Arbeitsschritte wird in den folgenden Planungsschritten weiter verfahren und es erfolgt keine Detaillierung in Form von einzelnen Vorgängen. Grund ist die geringe Kenntnis über das genaue Ausmaß im Hinblick auf Zeit und Kosten einzelner Vorgänge, wodurch eine Detaillierung planungstechnisch nicht zielführend wäre. Die genaue Beschreibung der geformten Arbeitspakete kann dem zugehörigen Register zum Verantwortlichen, den Inhalten, Zielen, Nicht-Zielen, Herstellern und Ergebnissen in Tabelle 4 entnommen werden.

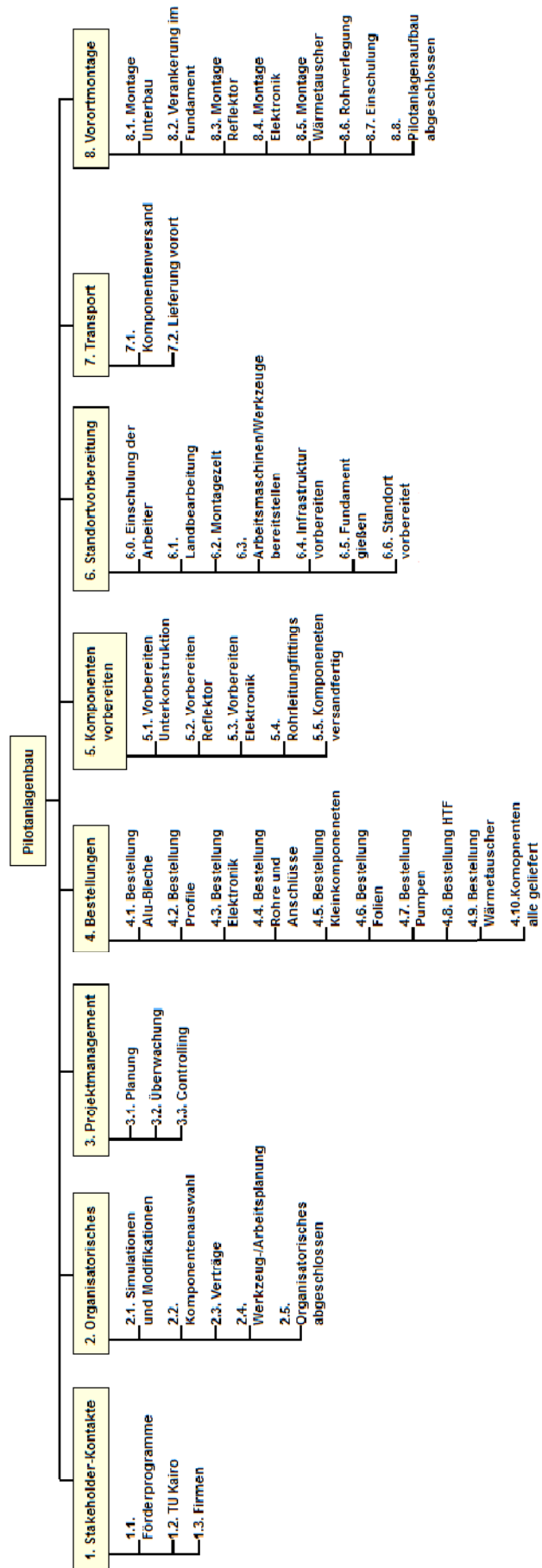


Abbildung 12: Projektstrukturplan des Pilotanlagenprojekts

Tabelle 4: Beschreibung der einzelnen Arbeitspakete des Solabolic Pilotanlagenprojekts

Arbeitspaket	Verantwortlicher *	Inhalt	Ziele	Nicht-Ziele	Schnittstellen	Ergebnis (Vertrag, Angebot, etc.)
Stakeholder-Kontakte						
Behörden	Ahmed	Abklären aller nötigen Verträge und Befugnisse	Schriftliche sowie mündliche Vereinbarungen, dass auf der Fläche gebaut werden kann und die Personalkosten für den Testbetrieb vom Staat Ägypten übernommen werden		Ägyptisches Ministerium für höhere Bildung, WKÖ Kairo	Schriftliches Abkommen
Förderprogramme	Ahmed	Kontakt und Absprache mit Förderstellen	Erhalt von Fördergeldern	Kein Private Equity oder Venture Capital	Förderstellen	Schriftliche Zusage der Förderung
TU Kairo	Ahmed	Kontakt und Absprache bzgl. des Errichtungsortes und des benötigten wissenschaftlichen Personals				
Firmen	Ahmed	Kontakt und Absprache, ob ein Testbetrieb erwünscht wäre	Akquirierung von Industriepartnern			Schriftliche Zusage, dass ein Testbetrieb am Industriestandort erwünscht ist
Organisatorisches						
Komponentenauswahl	CTO	Auswahl geeigneter Komponenten	Bestimmung von Komponenten, die gemäß ihren Spezifikationen zusammen passen und ihren Zweck verlässlich erfüllen			Komponentenliste
Verträge	CFO	Abklären der Verträge mit ägyptischen Firmen zur Landbearbeitung und Montage sowie allen weiteren Vorortarbeiten	rechtlich abgesicherte Planungsgrundlage			Angebote und Verträge mit Firmen

Werkzeug-/Arbeitsplatzplanung	CFO	Planung der Arbeitsplatz- und Werkzeugverfügbarkeit	Überblick über benötigte Werkzeuge und Arbeitsplätze			Terminplan, der die benötigten Ressourcen am Arbeitsplatz und Werkzeuge kennzeichnet
Projektmanagement						
Planung	Projektmanager	Planung des Projekts	Übersicht über Vorgänge, Zeit und Kosten			Projektstrukturplan, Ressourceneinsatzplan, Netzplan
Überwachung	Projektmanager	Überwachung des Projekts	Überblick über die Tätigkeiten im Projektverlauf und Abstimmung mit dem Basisplan			Earned Value Analyse
Kontrolle	Projektmanager	Kontrolle des Projekts	Überblick über die Tätigkeiten der Projektplanung und der -überwachung sowie Zusammenführung der Daten			
Bestellung						
Alu-Bleche	CTO, Projektmanager	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Alu-Bleche			Unterzeichnete Angebote
Profile	CTO, Projektmanager	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Profile		Voest Alpine	Unterzeichnete Angebote
Elektronik	CTO, Projektmanager	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Elektronik			Unterzeichnete Angebote
Rohre/Anschlussstücke/Ventile	CTO, Projektmanager	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Rohre/Anschlussstücke/Ventile			Unterzeichnete Angebote
Kleinkomponenten	CTO, Projektmanager	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Kleinkomponenten			Unterzeichnete Angebote

Folie	CTO, Projekt- manager	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Folien			Unterzeichnete Angebote
Pumpen	CTO, Projekt- manager	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Pumpen			Unterzeichnete Angebote
Wärmetauscher	CTO, Projekt- manager	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung eines möglichst preisgünstigen aber qualitativ hochwertigen Wärmetauschers			Unterzeichnete Angebote
HTF		Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung von möglichst preisgünstigem aber qualitativ hochwertigem Wärmeträgermedium (HTF)			Unterzeichnete Angebote
Komponenten vorbereiten						
Unterkonstruktion	CTO	Vorbereitung der Unterkonstruktion durch entsprechende Verarbeitung der Profile	Unterkonstruktion so weit als möglich vormontiert			
Reflektor	Projekt- manager	Stanzen und Laminieren der Alu-Bleche	Fertige Reflektoren			
Elektronik	CTO	Elektronik entsprechend einstellen und für Montage vorbereiten	Elektronik kann vor Ort gleich verbaut werden ohne zusätzliche Einstellungen			
Rohrleitungen/ Fittings	CTO, Projekt- manager	Rohre und Anschlüsse so gut wie möglich vorbereiten und Halterungen anpassen	Rohre passen sicher in die Halterung und Verbindungsteile lassen sich verknüpfen			
Meilenstein: Vorbereitung abgeschlossen/ versandfertig						

Gelände Vorbereitung						
Landbearbeitung	Ahmed	Ebnung der Landflächen, Aushebung des Fundaments sowie entsprechende Vorbereitung für die reibungsfreie Montage	Landfläche ist so vorbereitet, dass die Anlage ohne weiteres Zutun errichtet werden kann	Keine Bearbeitung jenseits der benötigten Flächen		
Arbeits-/ Lagerzelt	Ahmed	Errichtung des Zelts zur Lagerung der Komponenten bis zur Montage sowie zum Bearbeiten der Komponenten für die Montage				
Werkzeuge/ Arbeitsmaschinen bereitstellen	Ahmed	Werkzeuge und Arbeitsmaschinen für die Montagearbeiten werden vor Ort bereitgestellt	Alle Maschinen und Geräte die zur Montage benötigt werden sind ordentlich vorbereitet	Keine Bereitstellung von Maschinen oder Geräten, die von den Arbeitern für die Montage mitgebracht werden		
Infrastruktur (Wasser/ Elektrizität)	Ahmed	Legung der Leitungen für Wasser und Elektrizität	Infrastruktur soweit vorbereitet, dass nachher bei der Montage nur noch angeschlossen werden muss			
Fundament gießen	Ahmed	Ausgießen der Fundamentgrube	Fundament ist breit, sodass bei der Montage direkt mit der Verankerung des Unterbaus begonnen werden kann			
Transport						
alle Komponenten	Projektmanager	Alle Komponenten werden sicher in einer Versandeinheit verpackt und nach Ägypten geschickt	Komponenten sind gleichzeitig am Standort in Ägypten	Einzelne Sendungen		Komponentencheckliste, Versandbestätigung
Vorortmontage						
Unterbau	CTO, Ahmed	Profile werden verschweißt und als kompletter Unterbau errichtet	Unterbau ist komplett zusammengebaut und muss nur noch aufgestellt werden			

Verankerung im Fundament	CTO, Ahmed	Verankerung des Unterbaus	Unterbau ist fest im Boden verankert			
Reflektor	CTO, Ahmed	Montage des Reflektors (Montage der Rollen, Seile, Abspannen der Folien)	Reflektor ist montiert, in Form gebracht und sicher befestigt			
Elektronik	CTO, Ahmed	Montage des Nachführsystems, des Motors und aller weiteren Elektronikkomponenten	Elektronik ist einsatzbereit			
Wärmetauscher	CTO, Ahmed	Montage aller Rohre, Pumpen und weiteren Komponenten des Wärmetauschers	Wärmetauscher funktionsfähig			
Rohrverlegung	CTO, Ahmed	Verlegung der Absorber- und Anschlussrohre	Absorber und alle sonstigen Rohre sind verlegt			
Einschulung	CTO, Ahmed	Schulung des wissenschaftlichen Personals an der errichteten Anlage	Personal, das die Messungen an der Pilotanlage durchführen soll, ist eingeschult			

* CTO: Chief Technical Officer, Technischer Leiter, CFO: Chief Financial Officer, Finanzvorstand

3.7.4 Ablaufs- und Terminplan

Nach der Identifikation der Arbeitspakete wurden diese in eine korrekte technologisch und zeitlich mögliche Reihenfolge gebracht und logisch miteinander verknüpft. Für die Ermittlung der Dauer der einzelnen Arbeitspakete wurde auf Expertenmeinungen sowie Daten aus Großanlagenprojekten, die auf die geringere Größe der Pilotanlage heruntergerechnet wurden, zurückgegriffen. Letztere bezogen sich u.a. auf Solabolic vorliegenden Informationen über ein Parabolrinnenkraftwerk in Süd-West Arizona, die vom National Renewable Energy Laboratory (NREL) erhoben wurden. Dementsprechend ergab sich mit dem von Solabolic gesetzten Anfangsdatum 10.03.2015 eine Projektdauer von 422 Tagen, das heißt ca. 14 Monaten, mit 05.05.2016 als voraussichtliches Enddatum.

Veranschaulicht wurden die Ergebnisse in einem vernetzten Balkendiagramm, siehe Abbildung 13, sowie einem Netzplan, siehe Abbildung 14 (größeres Exemplar in der Plantasche auf der hinteren Einbandinnenseite). Für die Darstellung des Balkendiagramms und Netzplans wurde Microsoft Project verwendet. Aufgrund der Planungsmöglichkeiten in Microsoft Project basiert der weitere Planungsverlauf ausschließlich auf dem Balkendiagramm als Ausgangsbasis für die Ressourcen-, Kosten- und Risikokalkulation.

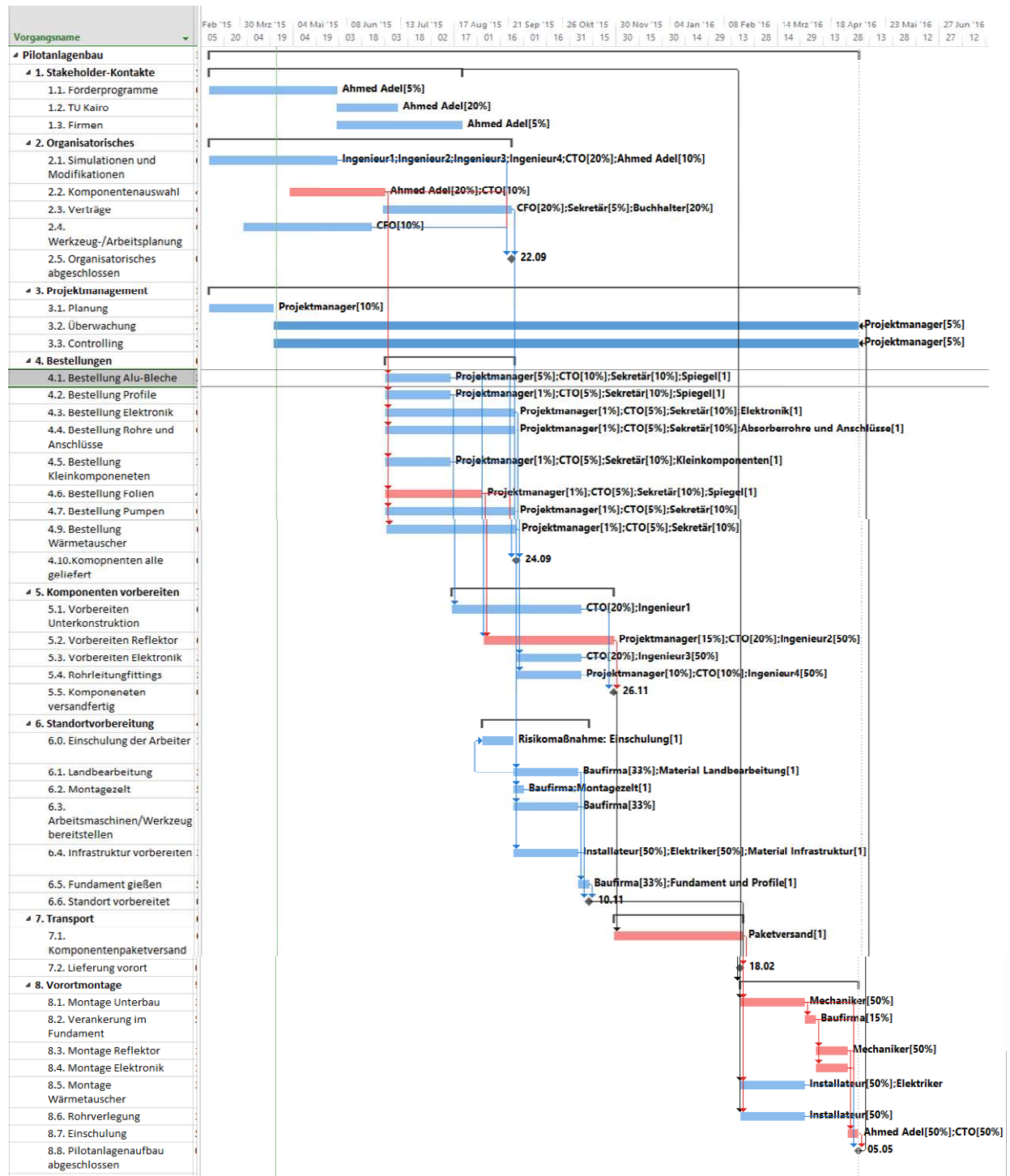


Abbildung 13: Balkendiagramm des Projekts

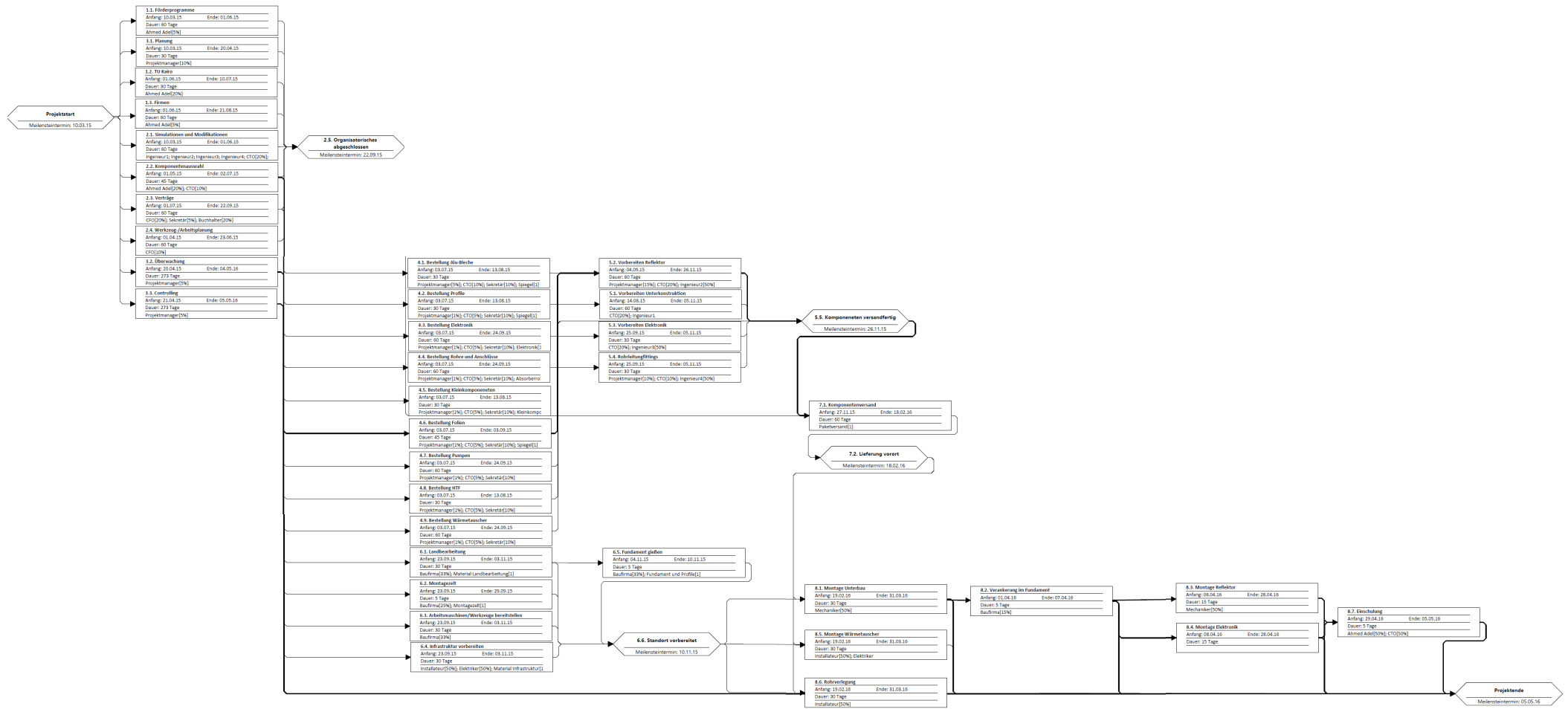


Abbildung 14: Netzplan des Pilotanlagenprojekts

3.7.5 Ressourcenplan

In Bezug auf die personell benötigten Ressourcen konnten vierzehn Positionen ermittelt werden: Ahmed Adel (Gründer), CTO, CFO, Projektmanager, Ingenieur 1, Ingenieur 2, Ingenieur 3, Ingenieur 4, Sekretär, Buchhalter, Baufirma, Mechaniker, Installateur, Elektriker. Nachdem die Personalbeschaffung noch nicht abgeschlossen ist, wurden derzeit, abgesehen vom Gründer, nur Rollenbezeichnungen verwendet, denen in weiterer Projektfolge konkrete Personen zugewiesen werden. Zu unterscheiden ist hierbei das Anstellungsverhältnis. Die ersten zehn gelisteten Positionen (Ahmed Adel, CTO, CFO, Projektmanager, Ingenieur 1, Ingenieur 2, Ingenieur 3, Ingenieur 4, Sekretär, Buchhalter) sind beim Start-up direkt beschäftigt und arbeiten hauptsächlich von Österreich aus, sofern es keiner Termine in Ägypten bedarf. Die anderen Positionen werden von Arbeitern bekleidet, deren Beschäftigungsverhältnis bei externen Unternehmen in Ägypten abgeschlossen wurde.

Die Aufgabenbereiche der einzelnen Personen sind entsprechend der Zuweisung zu Arbeitspaketen in Tabelle 5 untergliedert. Dabei stellen die Zahlen vor den Arbeitspaketbezeichnungen den jeweiligen Code des Pakets dar.

Im Laufe der Planung hat sich keine Ressource aus zeitlichen Gründen als besonders kritisch herausgestellt. Lediglich bei Ahmed Adel muss aufgrund der inhaltlich sehr verschiedenen Einsatzbereiche die zeitliche Kompatibilität beachtet werden. Jedoch ist darauf zu achten, dass sich die Kalkulationen auf die Angaben des Start-ups stützen, die lediglich Arbeiten zum Pilotanlagenbau beinhalteten. Daher konnten keine weiteren Tätigkeiten wie z.B. Veranstaltungen, Akquise, Investorensuche oder ähnliches, die ggf. gleichzeitig ablaufen, berücksichtigt werden.

Tabelle 5: Personeller Ressourceneinsatz

Ressource	Arbeitspaket	Aufzuwendende Stunden
Ahmed Adel	1.1. Förderprogramme	24
	1.2. TU Kairo	48
	1.3. Firmen	24
	2.1. Simulationen und Modifikationen	48
	2.2. Komponentenauswahl	72
	8.7. Einschulung	20
	Gesamtstunden: 236	
CTO	2.1. Simulationen und Modifikationen	96
	2.2. Komponentenauswahl	36
	4.1. Bestellung Alu-Bleche	24
	4.2. Bestellung Profile	12
	4.3. Bestellung Elektronik	24

Ressource	Arbeitspaket	Aufzuwendende Stunden
	4.4. Bestellung Rohre und Anschlüsse	24
	4.5. Bestellung Kleinkomponenten	12
	4.6. Bestellung Folien	18
	4.7. Bestellung Pumpen	24
	4.8. Bestellung HTF	12
	4.9. Bestellung Wärmetauscher	24
	5.1. Vorbereiten Unterkonstruktion	96
	5.2. Vorbereiten Reflektor	96
	5.3. Vorbereiten Elektronik	48
	5.4. Rohrleitungsittings	24
	8.7. Einschulung	20
	Gesamtstunden: 590	
CFO	2.3. Verträge	96
	2.4. Werkzeug-/Arbeitsplanung	48
	Gesamtstunden: 144	
Projektmanager	3.1. Planung	24
	3.2. Überwachung	109,2
	3.3. Controlling	109,2
	4.1. Bestellung Alu-Bleche	12
	4.2. Bestellung Profile	2,4
	4.3. Bestellung Elektronik	4,8
	4.4. Bestellung Rohre und Anschlüsse	4,8
	4.5. Bestellung Kleinkomponenten	2,4
	4.6. Bestellung Folien	3,6
	4.7. Bestellung Pumpen	4,8
	4.8. Bestellung HTF	2,4
	4.9. Bestellung Wärmetauscher	4,8
	5.2. Vorbereiten Reflektor	72
	5.4. Rohrleitungsittings	24
	Gesamtstunden: 380,4	
Sekretär	2.3. Verträge	24
	4.1. Bestellung Alu-Bleche	24
	4.2. Bestellung Profile	24
	4.3. Bestellung Elektronik	48
	4.4. Bestellung Rohre und Anschlüsse	48
	4.5. Bestellung Kleinkomponenten	24
	4.6. Bestellung Folien	36
	4.7. Bestellung Pumpen	48
	4.8. Bestellung HTF	24
	4.9. Bestellung Wärmetauscher	48
Gesamtstunden: 348		
Ingenieur 1	2.1. Simulationen und Modifikationen	480
	5.1. Vorbereiten Unterkonstruktion	480
	Gesamtstunden: 960	

Ressource	Arbeitspaket	Aufzuwendende Stunden
Ingenieur 2	2.1. Simulationen und Modifikationen	480
	5.2. Vorbereiten Reflektor	240
	Gesamtstunden: 720	
Ingenieur 3	2.1. Simulationen und Modifikationen	480
	5.3. Vorbereiten Elektronik	120
	Gesamtstunden: 600	
Ingenieur 4	2.1. Simulationen und Modifikationen	480
	5.4. Rohrleitungsittings	120
	Gesamtstunden: 600	
Baufirma	6.1. Landbearbeitung	67,57
	6.2. Montagezelt	5,48
	6.3. Arbeitsmaschinen/Werkzeuge bereitstellen	71,5
	6.5. Fundament gießen	13,2
	8.2. Verankerung im Fundament	6
	Gesamtstunden: 163,75	
Mechaniker	8.1. Montage Unterbau	120
	8.3. Montage Reflektor	60
	Gesamtstunden: 180	
Elektriker	6.4. Infrastruktur vorbereiten	120
	8.5. Montage Wärmetauscher	240
	Gesamtstunden: 360	
Installateur	6.4. Infrastruktur vorbereiten	120
	8.5. Montage Wärmetauscher	120
	8.6. Rohrverlegung	120
	Gesamtstunden: 360	

Daraus ergab sich die Einteilung der geforderten zeitlichen Ressourcenverfügbarkeit wie in Tabelle 6 entsprechend aufgelistet.

Tabelle 6: Geforderte zeitliche personelle Ressourcenverfügbarkeit

Ressource	Anfang	Ende
Ahmed Adel	10.03.2015	05.05.2016
CTO	10.03.2015	05.05.2016
CFO	01.04.2015	22.09.2015
Projektmanager	10.03.2015	05.05.2016
Ingenieur 1	10.03.2015	05.11.2015
Ingenieur 2	10.03.2015	26.11.2015
Ingenieur 3	10.03.2015	05.11.2015
Ingenieur 4	10.03.2015	05.11.2015
Sekretär	01.07.2015	24.09.2015
Buchhalter	01.07.2015	22.09.2015
Baufirma	23.09.2015	07.04.2016
Mechaniker	19.02.2016	28.04.2016
Elektriker	23.09.2015	31.03.2016
Installateur	23.09.2015	31.03.2016

Im Hinblick auf Materialressourcen konnten neun Positionen ausgemacht werden: Montagezelt, Spiegel, Material für Infrastruktur, Material für Landbearbeitung, Absorberrohre und Anschlüsse, Fundament und Profile, Elektronik, Kleinkomponenten, Paketversand. Diese sind in Tabelle 7 in Zusammenhang mit dem Arbeitspaket gelistet, in dem sie anfallen. Aufgrund der noch nicht vorliegenden konkreten Daten wurde auf eher grobe Beschreibungen der Ressourcen zurückgegriffen. Eine Orientierung bei der Einteilung lieferte hier die Auflistung der NREL zum Ressourceneinsatz bei der Referenzanlage in Süd-West Arizona.

Als Engpassressource kann hier die Ressource Spiegel gesehen werden. Grund dafür sind die Wahrscheinlichkeit für Fehleranfälligkeit und die große Zeitverzögerung und Kostenintensität bei Fertigungskomplikationen sowie Schäden am Spiegel. Dadurch würde der gesamte Anlagenaufbau zum Erliegen kommen.

Tabelle 7: Materialressourceneinsatz

Ressource	Arbeitspaket
Montagezelt	6.2. Montagezelt
Spiegel	4.1. Bestellung Alu-Bleche
	4.2. Bestellung Profile
	4.6. Bestellung Folien
Material Infrastruktur	6.4. Infrastruktur vorbereiten
Material Landbearbeitung	6.1. Landbearbeitung
Absorberrohre und Anschlüsse	4.4. Bestellung Rohre und Anschlüsse
Fundament und Profile	6.5. Fundament gießen
Elektronik	4.3. Bestellung Elektronik
Kleinkomponenten	4.5. Bestellung Kleinkomponenten
Paketversand	7.1. Komponentenversand

Somit konnte die Einteilung der geforderten Materialressourcenverfügbarkeit entsprechend Tabelle 8 erfolgen.

Tabelle 8: Geforderte zeitliche Materialressourcenverfügbarkeit

Ressource	Anfang	Ende
Montagezelt	23.09.15	29.09.15
Spiegel	03.07.15	03.09.15
Material Infrastruktur	23.09.15	03.11.15
Material Landbearbeitung	23.09.15	03.11.15
Absorberrohre und Anschlüsse	03.07.15	24.09.15
Fundament und Profile	04.11.15	10.11.15
Elektronik	03.07.15	24.09.15
Kleinkomponenten	03.07.15	13.08.15
Paketversand	27.11.15	18.02.16

3.7.6 Budgetplan

Zur Ermittlung der Gesamtkosten wurden die Kosten, die pro Ressource anfallen, eruiert. Die Daten beruhen bei den Personalkosten für direkt bei Solabolic Beschäftigte auf den Kalkulationen des Start-ups, bei Kosten für externe Arbeiter auf Informationen der Wirtschaftskammer Österreich und darauf basierenden weiterführenden Recherchen. Bezüglich der Materialkosten wurde wiederum auf Daten des NREL zurückgegriffen. Nach der korrekten Aufteilung der Ressourcen auf die einzelnen Arbeitspakete und Zuweisung der jeweiligen Einsatzdauer, wurden schließlich die pro Arbeitspaket anfallenden Kosten berechnet. Aufsummiert über das gesamte Projekt belaufen sich die Gesamtkosten auf EUR 126.567.

Die genaue Aufschlüsselung der personellen Ressourcenkosten kann der Tabelle 9 entnommen werden, jene der materiellen Ressourcenkosten der Tabelle 10. In Abbildung 15 ist weiters die Verteilung der personellen Gesamtkosten auf die einzelnen Positionen übersichtlich abgebildet. Hierdurch ist zu erkennen, dass der Großteil der Kosten auf den CTO sowie die Ingenieure entfällt. Dies ist durch den hohen Arbeitseinsatz bzw. die Zuweisung vieler Tätigkeiten zu erklären, die in Absprache mit Solabolic gewählt wurde. Deutlich zu sehen ist dies auch bei der Kostenverteilung der Ingenieure. Nachdem Ingenieur 1 ein aufwändiger Arbeitsbereich durch die Vorbereitung der Unterkonstruktion zugeteilt wurde, fallen hier entsprechend hohe Kosten an.

Zur weiteren Übersicht dienen Tabelle 11 und Abbildung 16. In Ersterer werden die Kosten entsprechend dem Arbeitspaket in dem sie anfallen aufgeschlüsselt. Das Diagramm in Abbildung 16 stellt die Verteilung der Gesamtkosten eine

Hierarchieebende weiter oben, quasi auf Arbeitspaketübergruppenebene, dar. Somit kann gesehen werden, dass sich die Kosten mit ungefähr EUR 13.000 relativ gleichmäßig über die Arbeitspaketgruppierungen verteilen, lediglich die Kostenstellen Stakeholder-Kontakte, Projektmanagement und Transport weisen niedrigere Beträge auf.

Die kalkulierten Werte können als grobe Richtwerte verstanden werden und während des Projektverlaufs als Anhaltspunkte dienen. Hauptziel der Kostenermittlung ist es im Rahmen dieser Arbeit jedoch, die parameterstochastische Risikoanalyse auszuführen und dabei auf die hier ermittelten Beträge zurückzugreifen.

Tabelle 9: Personelle Ressourcenkosten

Ressource	Standardsatz	Kosten
Ahmed Adel	4.000 €/Monat	5.900 €
CTO	5.000 €/Monat	18.438 €
CFO	4.000 €/Monat	3.600 €
Projektmanager	3.000 €/Monat	7.133 €
Ingenieur 1	3.000 €/Monat	18.000 €
Ingenieur 2	3.000 €/Monat	13.500 €
Ingenieur 3	3.000 €/Monat	11.250 €
Ingenieur 4	3.000 €/Monat	11.250 €
Sekretär	3.000 €/Monat	6.525 €
Buchhalter	4.000 €/Monat	2.400 €
Baufirma	500 €/Tag	10.236 €
Mechaniker	150 €/Tag	3.375 €
Elektriker	150 €/Tag	9.000 €
Installateur	150 €/Tag	6.750 €

Tabelle 10: Materielle Ressourcenkosten

Ressource	Kosten
Montagezelt	136 €
Spiegel	15.987 €
Material Infrastruktur	434 €
Material Landbearbeitung	526 €
Absorberrohre und Anschlüsse	9.742 €
Fundament und Profile	2.510 €
Elektronik	1.937 €
Kleinkomponenten	280 €
Paketversand	1.000 €

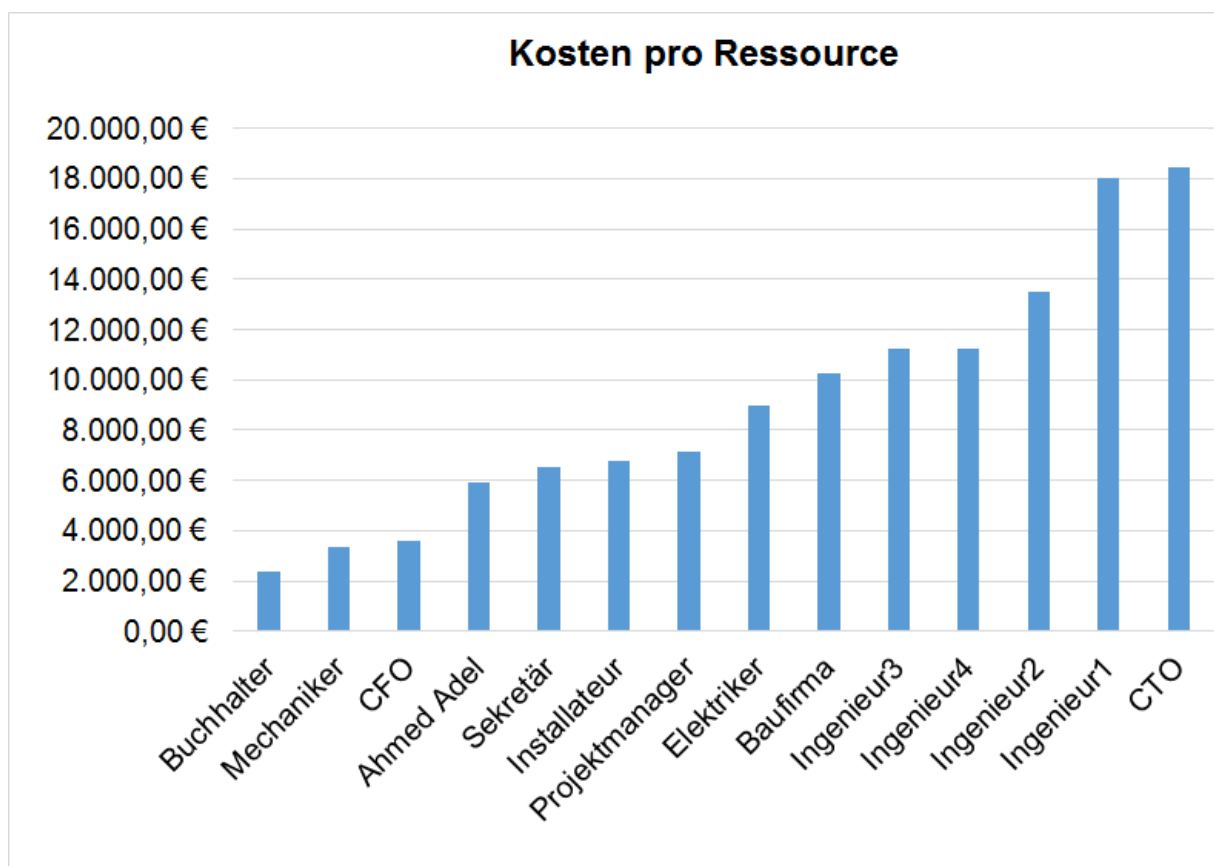


Abbildung 15: Kostenverteilung der personellen Ressourcen

Tabelle 11: Kosten der einzelnen Arbeitspakete

Arbeitspaket	Kosten
1.1. Förderprogramme	600 €
1.2. TU Kairo	1.200 €
1.3. Firmen	600 €
2.1. Simulationen und Modifikationen	4.200 €
2.2. Komponentenauswahl	2.925 €
2.3. Verträge	5.250 €
2.4. Werkzeug-/Arbeitsplanung	1.200 €
3.1. Planung	450 €
3.2. Überwachung	2.048 €
3.3. Controlling	2.048 €
4.1. Bestellung Alu-Bleche	6.755 €
4.2. Bestellung Profile	6.199 €
4.3. Bestellung Elektronik	3.677 €
4.4. Bestellung Rohre und Anschlüsse	11.482 €
4.5. Bestellung Kleinkomponenten	1.150 €
4.6. Bestellung Folien	6.634 €
4.7. Bestellung Pumpen	1.740 €
4.8. Bestellung HTF	870 €
4.9. Bestellung Wärmetauscher	1.740 €
5.1. Vorbereiten Unterkonstruktion	12.000 €
5.2. Vorbereiten Reflektor	8.850 €
5.3. Vorbereiten Elektronik	3.750 €
5.4. Rohrleitungsfittings	3.450 €
6.0. Einschulung der Arbeiter	3.000 €
6.1. Landbearbeitung	4.651 €
6.2. Montagezelt	237 €
6.3. Arbeitsmaschinen/Werkzeuge bereitstellen	4.469 €
6.4. Infrastruktur vorbereiten	4.934 €
6.5. Fundament gießen	3.335 €
7.1. Komponentenversand	1.000 €
8.1. Montage Unterbau	2.250 €
8.2. Verankerung im Fundament	375 €
8.3. Montage Reflektor	1.125 €

Arbeitspaket	Kosten
8.4. Montage Elektronik	2.250 €
8.5. Montage Wärmetauscher	6.750 €
8.6. Rohrverlegung	2.250 €
8.7. Einschulung	1.125 €

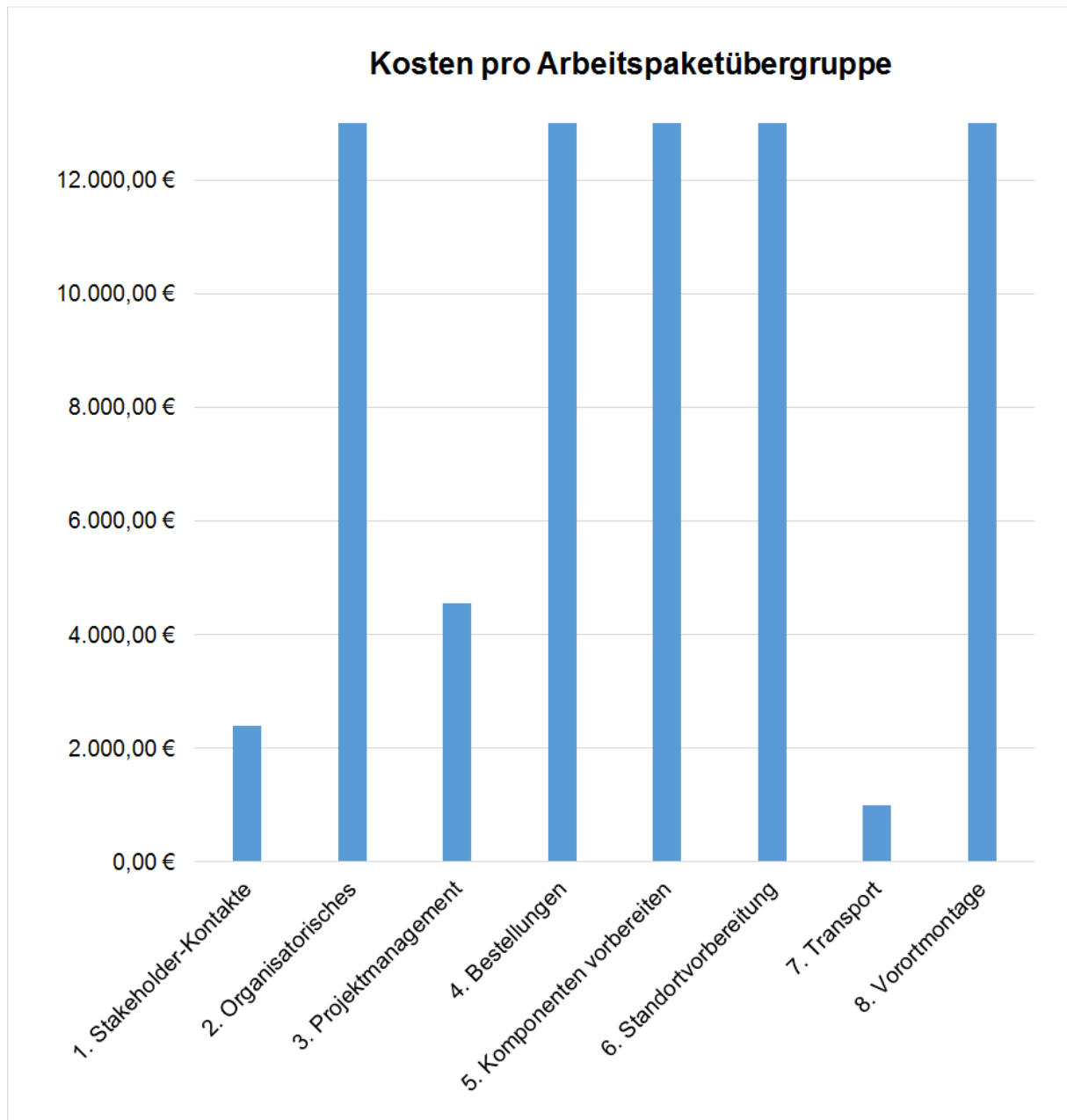


Abbildung 16: Kostenverteilung der Arbeitspakete

3.7.7 Risikoidentifikation

Um die Risiken zu identifizieren, wurde auf die Methode Brainstorming zurückgegriffen. Hierbei wurden nach Einigung auf die jeweilige Risikokategorie (politisch, wirtschaftlich, sozial, technisch) alle möglichen Risiken zusammengetragen, die generell vorstellbar für den Pilotanlagenbau sind und der Kategorie zuzuordnen sind. Dies diente zur Fokussierung und möglichst umfangreichen Betrachtung von allen Aspekten. Kamen Risiken zu anderen Kategorien zur Sprache, so wurden diese ebenso entsprechend aufgezeichnet. War das Brainstorming beendet, so wurde die von Altran erstellte Risikocheckliste herangezogen. Es wurden die bereits gesammelten Risiken mit den Risiken der Checkliste abgeglichen und ggf. ergänzt, falls ein Risiko der Checkliste noch nicht berücksichtigt wurde. Eine kategorische Auflistung der identifizierten Risiken ist Tabelle 12 zu entnehmen. Anzumerken ist, dass aus Gründen der vereinfachten Darstellung in die Liste bereits die Maßnahmen zur Risikobewältigung aufgenommen wurden, die jedoch erst in einem späteren Schritt erarbeitet wurden. Wie bei einer solchen Projektart zu erwarten, machen die technischen Risiken den Großteil der Risiken aus. Aber auch die sozialen Risiken, die in Bezug zu verrichtender Arbeit auftreten, beanspruchen einen bedeutenden Prozentsatz. Nachdem es sich bei dem Projekt lediglich um eine Pilotanlage handelt, hält sich hingegen der Umfang der politischen und wirtschaftlichen Risiken im Rahmen.

Tabelle 12: Identifizierte Risiken für den Bau der Solabolic Pilotanlage

Haupt-kategorie	Unter-kategorie	Spezifische Risiken	Risikomaßnahme
Politisch	Land	Landstreifen wird durch Radikale besetzt	
Politisch	Land	Unruhen, wodurch Sicherheitspersonal benötigt wird	
Politisch	Land	Neue Technologien kommen auf den Markt und werden stattdessen unterstützt	
Politisch	Finanzen	Keine Unterstützung von CSP mehr => Personal für Testbetrieb muss selbst bezahlt werden	
Politisch	Finanzen	Wasser-/Elektrizitätsleitungsverlegung (Infrastruktur) muss selbst bezahlt werden	
Politisch	Regulier-ungen	Genehmigungen werden nicht mehr gegeben	Mehrere Kontaktpersonen werden miteinbezogen
Politisch	Regulier-ungen	Polit. Kontaktperson im Ministerium wird ausgetauscht: Vereinbarungen zu IP-Rechten werden missachtet	Mehrere Kontaktpersonen werden miteinbezogen
Politisch	Regulier-ungen	Polit. Kontaktperson im Ministerium ausgetauscht: Verweigerung des Zutritts zur Anlage (keine Ansprechperson um am Wächter vorbeizukommen)	Mehrere Kontaktpersonen werden miteinbezogen
Politisch	Regulier-ungen	Polit. Kontaktperson im Ministerium ausgetauscht: beauftragten Dritten, die bezahlt werden müssen, wird der Zutritt verweigert	Mehrere Kontaktpersonen werden miteinbezogen
Wirtschaft-lich	Finanziell	Einzelstückkosten höher als erwartet (Preisvorgaben basieren auf großen	

Haupt-kategorie	Unter-kategorie	Spezifische Risiken	Risikomaßnahme
		Einkaufsmengen, z.B. Nachführsystem)	
Wirtschaftlich	Finanziell	zusätzlicher Softwarekauf nötig	
Wirtschaftlich	Finanziell	Förderung wird nicht bewilligt (=> Suche nach Private Equity & Business Angels, Unternehmensbewertung nötig)	
Wirtschaftlich	Finanziell	Zusätzliche Sicherheitsausrüstungen nötig	
Wirtschaftlich	Finanziell	Stromnetz-Blackout	
Wirtschaftlich	Finanziell	Simulationen/Produktmodifikationen zu komplex	
Wirtschaftlich	Finanziell	Nachbestellungen wegen mangelnder Ersatzteile (Versand direkt nach Ägypten)	Zusätzliche Ersatzteile mitschicken
Wirtschaftlich	Preisvolatilität	Rohstoffpreise steigen signifikant (Stahl etc.)	
Wirtschaftlich	Vertraglich	Zusatzversicherungen aus Haftungsgründen von Vertragspartnern werden gefordert (Transport, Personenschutz etc.)	
Wirtschaftlich	Vertraglich	Meilensteine werden laut Förderpartnern nicht eingehalten => neue Geld-Tranchen werden nicht überwiesen	
Wirtschaftlich	Vertraglich	Miete wird verlangt, obwohl laut Vereinbarungen keine zu bezahlen ist	Mehrere Kontaktpersonen werden miteinbezogen
Sozial	Sicherheit	Nicht-Beachten von Sicherheitsvorschriften führt zu Komponentenschäden	Einschulung des Arbeitspersonals
Sozial	Sicherheit	Verzug durch Personenschaden	Team kann sich gegenseitig vertreten
Sozial	Sicherheit	Seile zu fest gespannt => Sicherheitsrisiko durch "fliegende" Seile	Seilverbindungen gut überprüfen
Sozial	Sicherheit	Arbeits-/Montagezeit ist fehlerhaft montiert => Ausreißen bei starken Windlasten, Sicherheitsrisiko durch "fliegende" Teile	Einschulung des Arbeitspersonals
Sozial	Sicherheit	Verzug wegen extremer Wetterbedingungen	
Sozial	Sicherheit	Rohrverbindungen wegen Montagefehler undicht => Verbrennungen	Einschulung des Arbeitspersonals
Sozial	Umwelt	Ressourcenengpässe (z.B. Wasser)	
Sozial	Arbeit	Korruption nötig, um Arbeiten fortsetzen zu können	
Sozial	Arbeit	Kooperation mit beauftragten Unternehmen funktioniert nicht => es muss nach neuen Firmen gesucht werden	Gute Absprache am Anfang und Aufbau einer Vertrauensebene
Sozial	Arbeit	Fahrlässigkeit des Reinigungspersonals => Schäden an den Spiegeln	Einschulung des Arbeitspersonals
Sozial	Arbeit	Fehlerhaftes Anschließen der verschiedenen Rohre wegen zu geringem Know-how => Lecks	
Sozial	Arbeit	Kontaktpartner von Komponentenlieferanten kommunizieren nicht (Auftrag uninteressant, weil kleine Stückmengen)	Telefonische Kontaktaufnahme mit schriftlichem Nachfassen
Sozial	Arbeit	Qualifizierte Arbeiter wollen Entlohnung jenseits der zur Verfügung gestellten Unternehmensanteile	Akkurate, übersichtliche Darstellung der Unternehmenssituation und -vorteile
Sozial	Arbeit	Unterbrechungen des Informationsflusses führen zu Kontrollverlust des Arbeitsfortschrittes	Fixieren von zwei Kontaktpersonen, die vor Ort sind (ggf. einer der

Haupt-kategorie	Unter-kategorie	Spezifische Risiken	Risikomaßnahme
			Arbeiter definiert als "Leiter/Verantwortlicher" und ein wissenschaftlicher Mitarbeiter der TU Kairo)
Sozial	Arbeit	Mangel an qualifiziertem Personal für die Produktweiterentwicklung erfordert zusätzliche (Ein-)Schulungen	
Sozial	Arbeit	Unstimmigkeiten im Team, sozial inkompatibel	Förderung von Offenheit im Team, Teammeetings, bei denen alle beteiligt werden, Förderung von kritischen aber progressiven Äußerungen
Sozial	Arbeit	Arbeiter arbeiten lieber bei etablierten Unternehmen => Zusatzlohn	10-15% Unternehmensanteile für Mitarbeiter reservieren
Sozial	Arbeit	Schlechte Kommunikation mit/zwischen Arbeitern führt zu Verzug bei Landbearbeitung und Vormontage	Förderung des Austausches durch Bindeglied-Funktion zwischen den Firmen mit wöchentlichen bis zweitägigen Updates
Sozial	Arbeit	Kooperationspartner der TU Kairo verhindert (erkrankt etc.)	Mehrere Kontaktpersonen werden miteinbezogen
Technisch	Leistung	Ungenauere Abstimmung zwischen Seillänge, Abhängenlänge, Blechgröße, Profilen (Toleranzen überschritten) => Wirkungsgradverlust	Genauere Überprüfung während der Simulationsphase und genaue Prüfung bei Komponentenvorbereitung
Technisch	Leistung	Verbindungspunkte Abhänger - Spiegelösen nicht richtig positioniert => Wirkungsgradverlust wegen schlechter optischer Präzision	Genauere Überprüfung während der Simulationsphase und genaue Prüfung bei Komponentenvorbereitung
Technisch	Leistung	Messungen zeigen viel Nachbearbeitungsbedarf	
Technisch	Leistung	Fehlerhaftes Fluchten der Rollen wegen fehlendem Know-how der Monteure => Wirkungsgradverlust	Einschulung des Arbeitspersonals, robuste Konstruktion
Technisch	Leistung	Datenbanken zu ägyptischen DNI-Daten fehlerhaft, geringere Werte => geringerer Wirkungsgrad	
Technisch	Projekt	Komponentenschäden wegen Sandstürmen	Vorab Wahl von robusten, getesteten, sandsturmresistenten Komponenten - siehe Spiegelsegmente
Technisch	Projekt	Windlasten übersteigen die berechneten Spitzenwerte	Berechnungen mit nicht nur lokalen, sondern in der gesamten Region maximal gemessenen Werten
Technisch	Projekt	Getriebe und Motor halten die Widerstände/Lasten nicht aus	Berechnungen mit nicht nur lokalen, sondern in der gesamten Region maximal gemessenen Werten

Haupt-kategorie	Unter-kategorie	Spezifische Risiken	Risikomaßnahme
Technisch	Projekt	Inkomplette Lieferungen => Aufteilen des der Lieferung nach Ägypten	Konstantes Nachfassen bei Lieferanten bzgl. Bestellstatus bzw. geplantem Liefertermin
Technisch	Projekt	Blockierte Kreisprozesse wegen blockiertem Ventil => Pumpe überhitzt	Wahl einer bereits gut getesteten Wärmepumpe und Simulation mit Extrembedingungen
Technisch	Projekt	Ungenügender Wärmeaustausch wegen zu geringem Gegenstrom im Wärmetauscher => schlecht für HTF	Wahl einer bereits gut getesteten Wärmepumpe und Simulation mit Extrembedingungswerten
Technisch	Projekt	Förderstelle verlangt großen bürokratischen Aufwand	Förderung eines guten Kontakts mit den zuständigen Personen
Technisch	Projekt	Seile zu fest gespannt => sie reißen	Einschulung des Arbeitspersonals, robuste Konstruktion, Seilverbindungen gut überprüfen
Technisch	Projekt	Alu-Blechgrößen stimmen nicht mit Foliengrößen überein => Nachbearbeitung/-bestellung wird nötig	Möglichst Bestellung von Materialproben in der geforderten Größe bzw. schriftliche Zusicherung der Größe durch den Lieferanten
Technisch	Projekt	Kaltlamination wird falsch gemacht (beauftragte Firmen haben ggf. kaum Erfahrung)	Genauer Vergleich der zu verwendenden Maschinen der verschiedenen Anbieter (Verzicht auf laminierte Bleche)
Technisch	Projekt	HTF erlangt Gefrierpunkt	Genauere Überprüfung der Kennzahlen des HTF und der Extremtemperaturen der Region
Technisch	Projekt	Wasser im Wärmetauscher erlangt Gefrierpunkt	Genauere Überprüfung der Kennzahlen des Wärmetauschers und der Extremtemperaturen der Region
Technisch	Projekt	Falsches HTF wird nachgefüllt (vor Ort)	Selbstbestellung oder Bestellung durch einen qualifizierten wissenschaftlichen Mitarbeiter
Technisch	Projekt	Absorberrohr passt nicht in Halterung	Genauere Abstimmung der Halterung und des Absorberrohrs in Simulationen, Vergleich mit verwendeten Maßen bei bereits verbauten Konstruktionen
Technisch	Projekt	Drehachse nicht perfekt ausgelegt => unvorteilhafte Kräfte auf Getriebe	Fokus bei Simulation auf ganzheitliche Betrachtung möglicher auftretender Kräfte und Massen
Technisch	Projekt	Falsche Auslegung: Verbindungsschnittstelle zwischen Motor und Getriebe ist nicht	Fokus bei Simulation auf ganzheitliche Betrachtung möglicher auftretender

Haupt-kategorie	Unter-kategorie	Spezifische Risiken	Risikomaßnahme
		Gesamtgravitationsmittelpunkt => unvorteilhafte Radial-/Axialkräfte	Kräfte und Massen
Technisch	Projekt	Verbindung zwischen Abhänger und Reflektor/Unterkonstruktion nicht stabil genug, um Windlasten standzuhalten	Berechnungen mit nicht nur lokalen, sondern in der gesamten Region maximal gemessenen Werten
Technisch	Projekt	Lieferteile passen nicht zusammen, falsch angegebene Spezifikationen	Detaillierte schriftliche Bestellungen, um belegen zu können, dass das Richtige bestellt wurde
Technisch	Projekt	Verankerung nicht stark bzw. tief genug	Berechnungen mit nicht nur lokalen, sondern in der gesamten Region maximal gemessenen Werten und allen Komponentenmassen
Technisch	Projekt	Boden hat wegen hohem Sandgehalt nicht die erforderliche Stabilität	Einholen von ggf. bestehenden Erfahrungsberichten, frühzeitige Bodenprobe
Technisch	Projekt	Fundament hält Lasten nicht aus	
Technisch	Projekt	Nachführsystem durch Montagefehler fehlerhaft (Stopper wird nicht betätigt wegen falscher Positionierung) => Komplettschaden	Anbringen einer Markierung am Profil (Erhebung oder Loch) und genaue Nachmessung bei Komponentenvorbereitung
Technisch	Projekt	Rollen zu hoch belastet durch Montagefehler => Verformungen & nicht mehr fluchtend	Ersatzteile (Rollen)
Technisch	Projekt	Missachtung der Montagereihenfolge bei der Spiegeleinspannung => Verbeulung der Spiegel durch zu punktuellen Belastungen	Einschulung des Arbeitspersonals
Technisch	Projekt	Anzahl der Abhänger nicht korrekt ausgelegt, um Verformungen zu verhindern	Simulationen bzw. Modifikationen werden derzeit gemacht
Technisch	Projekt	Spiegelösen wegen falscher Bearbeitungsreihenfolge/-nachbesserungen schadhaft (nach Kaltlaminieren dürfen keine weiteren Bearbeitungen mehr folgen)	Genaue Erklärung der Bearbeitungsreihenfolge beim Laminierungsunternehmen, genaue Prüfung bei der Komponentenvorbereitung
Technisch	Projekt	Gesamtpaket (für Ägypten) nicht sicher genug verpackt => defekte Spiegel	Anfrage beim Alu-Blech-Hersteller, welche Verpackung am besten geeignet ist, Wahl einer sicheren Versandart
Technisch	Projekt	Schweißnähte an Unterprofilen nicht robust genug	Stresstests
Technisch	Projekt	Folienränder an Spiegelrändern nicht dicht wegen Kaltlaminationsfehler => Wassereintritt	Genaue Analyse des ausgewählten Verfahrens, Laminierung eines Test-Blechs und genaue Überprüfung
Technisch	Projekt	Beschädigung der reflektierenden Folie beim Kaltlaminieren	Genaue Analyse des ausgewählten Verfahrens, Laminierung eines Test-

Haupt-kategorie	Unter-kategorie	Spezifische Risiken	Risikomaßnahme
			Blechs und genaue Überprüfung
Technisch	Projekt	Komponenten sind in den vorgesehenen Größen und Spezifikationen nicht verfügbar bzw. nicht sofort bestellbar	Auflistung der Komponenten nach Bedeutung und Einsatzzeitpunkt (ggf. schon essentiell am Anfang der Komponentenvorbereitung) sowie Nachfragen der Lieferzeit bereits zu Beginn des Bestellprozesses
Technisch	Projekt	Stromnetz-Blackout verhindert, dass Kollektor in Schutzposition geht => Komponentenschaden	
Technisch	Projekt	Einsatz von anderen Spiegelsegmenten aufgrund von Materialschwächen	
Technisch	Projekt	Spezifikationen stimmen unter realen Bedingungen nicht (z.B. Folie: Reflexionskoeffizient, Wetterbeständigkeit; Getriebe & Nachführsystem: Auslegung muss exakt auf Nachführsystem passen), vorab nicht erkennbar	Bestellung bei möglichst etablierten Unternehmen mit hohen Erfahrungswerten

3.7.8 Risikoanalyse

Zusätzlich zur angestrebten Simulation wurden die Risiken vorerst einer qualitativen Bewertung in Form einer Zuweisung zu Risikoleveln unterzogen. Dabei wurden die Level entsprechend den Quadranten der Risikokarte in Q1 bis Q9 unterteilt. Q9 entspricht dabei gemäß der bereits beschriebenen Portfolio-Methode dem tiefroten und somit kritischsten Bereich. Nähere Angaben können dem Anhang 10 entnommen werden, der die Quadrantenzuordnung abbildet. Anhang 11 zeigt weiters die Verteilung der Risiken gemäß ihres Kostenrisikos auf, während Anhang 12 die Zuordnung nach den Risiken für Verzögerungen darstellt. Diese Zuweisung des Risikolevels macht es möglich, Risiken zusätzlich zu ihrem Einfluss auf die Simulation auch visuell zu erfassen. Gemäß diesem Analyseschritt ist es für eine Verzögerung des Projekts am kritischsten, ob die Abhänger den Windlasten standhalten können. Dem folgen die Q8-klassifizierten Risiken: Spezifikationen, die vom Lieferanten angegeben werden, werden unter realen Bedingungen nicht verifiziert, Überhitzen des Wärmeträgermediums wegen eines Pumpenschadens, Wirkungsgradverlust aufgrund von falscher Positionierung der Abhänger, Ungenauigkeit in den Größen- und Längenabstimmungen der Komponenten und Einsatz von anderen Spiegelsegmentarten wegen Materialschwächen der Folien. Q6-Risiken für den Zeitplan sind einerseits hoher bürokratischer Aufwand, der seitens der Förderstelle gefordert wird, andererseits fehlerhafte Datenbaken zu DNI-Werten in Ägypten sowie die Tatsache, dass ggf. keine Förderung gewährt wird. Für das Risikoportfolio der Kostenrisiken ergeben sich abweichende Kombinationen. Die

höchsten Risiken sind in Q8 und Q6 zu finden. Q8-Risiken sind mit den realitätsfremden Spezifikationen, den anderen zu verbauenden Spiegelsegmenten und der Windbeständigkeit der Abhänger verbunden. Q6-Risiken sind hingegen, dass die Förderung nicht gestattet wird und zusätzliche Software erworben werden muss.

Für die Analyse in Form der @Risk-Simulation wurden zum Vergleich anfangs die Szenarien ohne Risikobewältigungsmaßnahmen und anschließend die relevanten Verteilungen mit Bewältigungsmaßnahmen ermittelt. Simuliert wurden hierfür die zu erwartenden Gesamtkosten und -dauer sowie die durch Eintritt von Risiken zusätzlich entstehenden Kosten und Tage. Für die Simulationen wurde eine Iterationszahl von 5.000 gewählt. Dabei zu beachten ist, dass für alle Arbeitspakete, denen aus logischen Gründen keine fixen Zeiträume zugewiesen sind, eine Dreiecksverteilung mit 10%-Abweichungen vom gesetzten Wert für die Minima und Maxima zugrunde gelegt wurde. Einzige Ausnahme ist das Arbeitspaket „Simulationen und Modifikationen“, dem aufgrund der hohen gegebenen Verzögerungsmöglichkeit bei einem gesetzten Wert von 60 Tagen eine Dreiecksverteilung mit einem Minimum von 55 Tagen und einem Maximum von 80 Tagen zugeordnet wurde. Ebenso wurden bei den Ressourcenkosten Verteilungen hinterlegt. Für interne Gehälter, d.h. für Personen, die bei Solabolic direkt angestellt sind, wurden Dreiecksverteilungen mit Maximal- und Minimalwerten von $\pm 5\%$ vom angegebenen Wert angenommen. Für externe Gehälter wurden mögliche Abweichungen mit Extremwerten von -5% und $+20\%$ gegenüber dem gesetzten Wert berücksichtigt. Grund für den eher hoch angesetzten Maximalwert ist einerseits die Instabilität in Ägypten und dementsprechende mögliche Preisschwankungen. Andererseits die Tatsache, dass es sich bei Bauvorhaben immer um individuelle Preisverhandlungen je nach zu erbringender Leistung handelt und daher verallgemeinerte Angaben stark von den real zu erbringenden Beträgen abweichen können. Nachdem die Preise für die materiellen Ressourcen hauptsächlich auf Ableitungen von Großanlagenprojekten, die noch dazu nicht in europäischen oder ägyptischen Ländern errichtet wurden, basieren, wurden hier ebenfalls mögliche stärkere Abweichungen vom berechneten Wert berücksichtigt. Bei der Dreiecksverteilung liegt dabei der Minimalwert bei 10% unter bzw. der Maximalwert bei 20% über dem gesetzten Wert.

3.7.8.1 Simulation der Ergebnisse ohne Risikomaßnahmen

Für die simulierten Gesamtkosten des Projekts ergibt sich, ohne Berücksichtigung von Risikomaßnahmen, eine Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung gemäß Abbildung 17. Daraus ist ersichtlich, dass der Erwartungswert bei EUR 228.382 liegt und zu 95% eine Kostengrenze von EUR 270.301 nicht überschritten wird. Von den zu erwartenden EUR 228.382 Projektkosten entspringen EUR 107.066 Aufwändungen,

die durch Eintritt von Risiken entstehen. Die annähernde Normalverteilung dieser zusätzlichen Kosten ist Abbildung 18 zu entnehmen. Dabei sind, gemäß Abbildung 19, die vier stärksten Kostentreiber die Risiken, dass von qualifizierten Arbeitern eine Entlohnung jenseits möglicher Angebote gefordert wird, dass Arbeiter prinzipiell lieber bei etablierten Unternehmen arbeiten, dass tatsächlich auftretende Windlasten jene überschreiten, für die die Konstruktion maximal ausgelegt ist und dass der beantragten Förderung nicht stattgegeben wird.

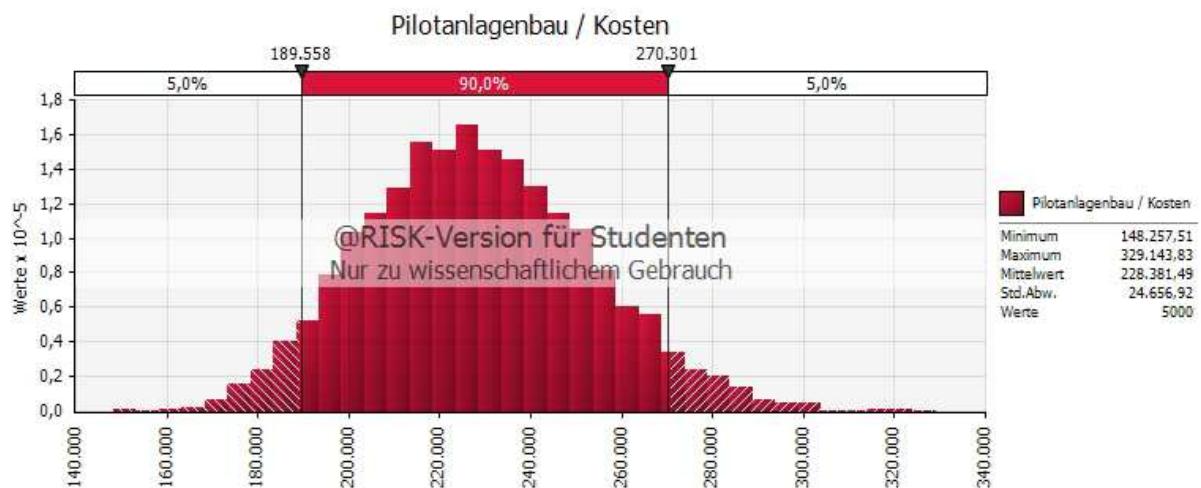


Abbildung 17: Simulierte Gesamtkosten für das Pilotanlagenprojekt ohne Risikomaßnahmen

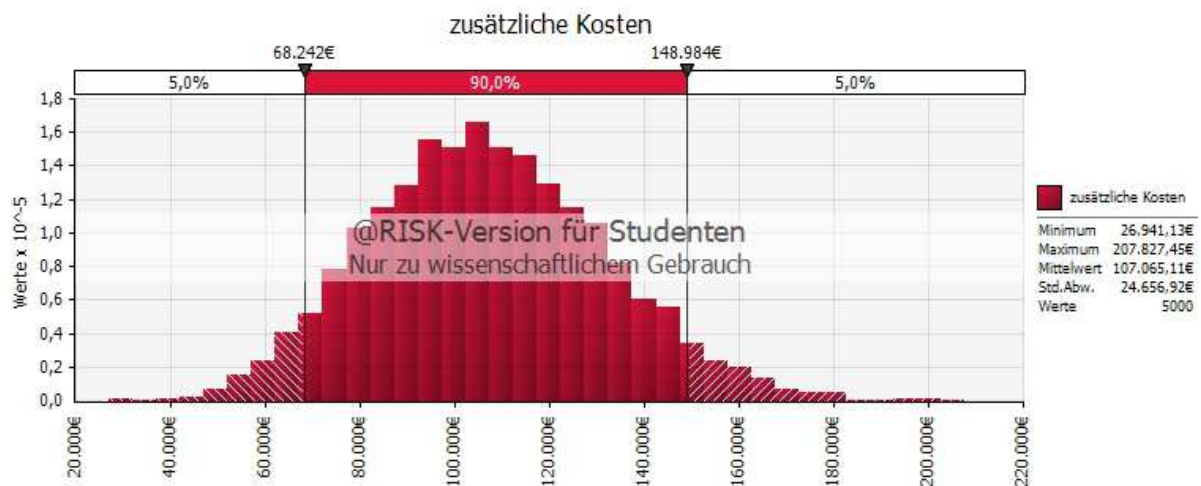


Abbildung 18: Durch Risiken entstehende simulierte Kosten für das Pilotanlagenprojekt ohne Risikomaßnahmen

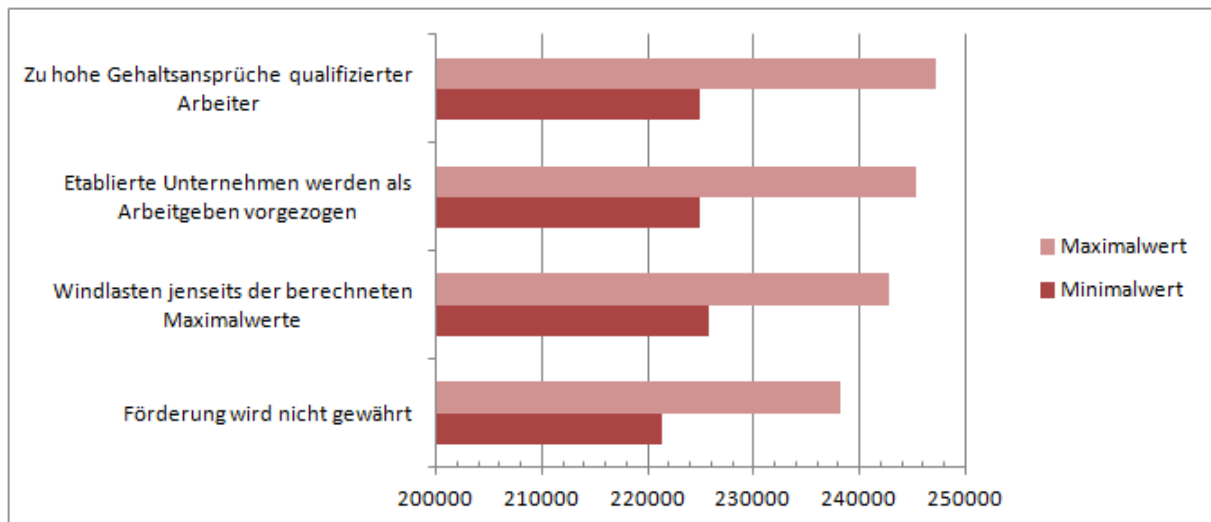


Abbildung 19: Simulierte Auswirkung einzelner Arbeitspakete in Euro auf die Gesamtkosten für das Pilotanlagenprojekt ohne Risikomaßnahmen

Die zu erwartende Dauer des Pilotanlagenbaus beläuft sich laut Simulationsergebnis auf 1.779 Tage für den Fall, dass keine Risikomaßnahmen getroffen werden – siehe Abbildung 20. Für eine Aussagesicherheit von 95% müssten 2.339 Tage angesetzt werden. Ausschlaggebend für den hohen Wert sind die zusätzlichen Tage, die durch den Eintritt von Risiken zur Projektdauer hinzukommen. Im Mittel sind dies, gemäß Abbildung 21, 1.477 zusätzliche Tage. Die vier wichtigsten Risiken, die diesen Wert in die Höhe treiben, sind eine Verweigerung der Projektförderung, fehlerhafte Daten zur Direktnormalstrahlung in Ägypten, zu starkes Spannen der Seile und falsches Montieren des Arbeitszelts. (Siehe Abbildung 22)

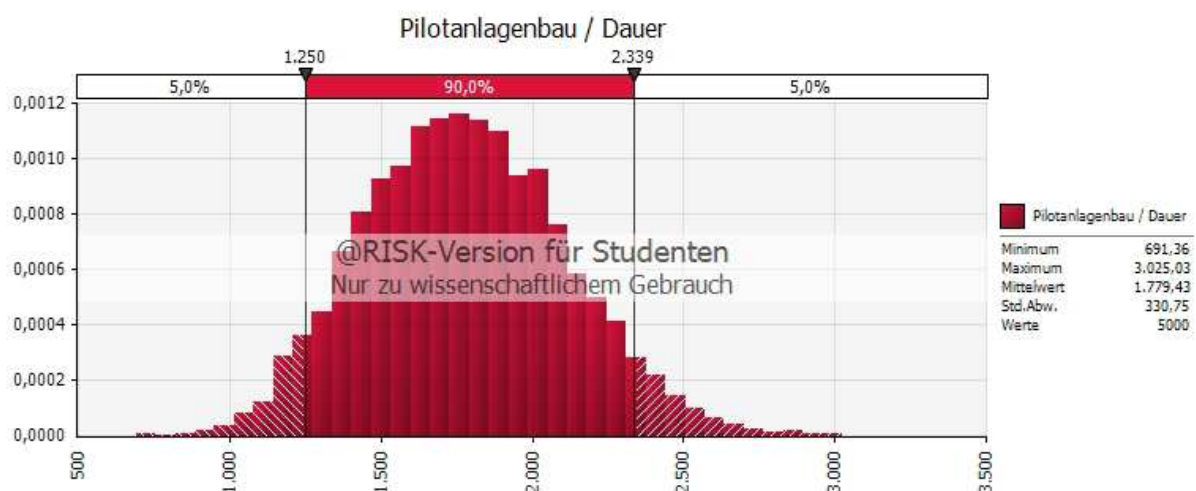


Abbildung 20: Simulierte Gesamtdauer für das Pilotanlagenprojekt ohne Risikomaßnahmen

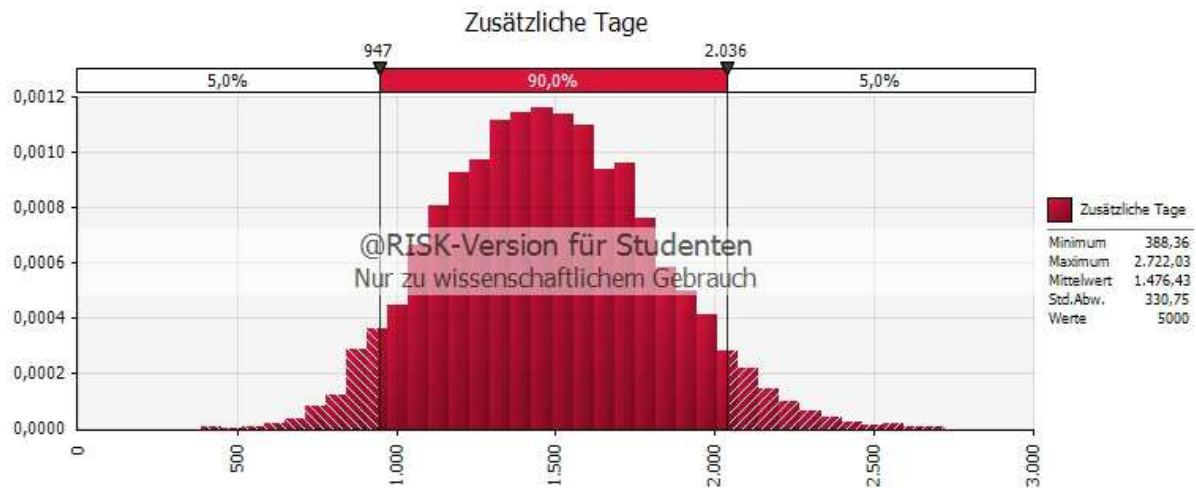


Abbildung 21: Durch Risiken entstehende simulierte Dauer für das Pilotanlagenprojekt ohne Risikomaßnahmen

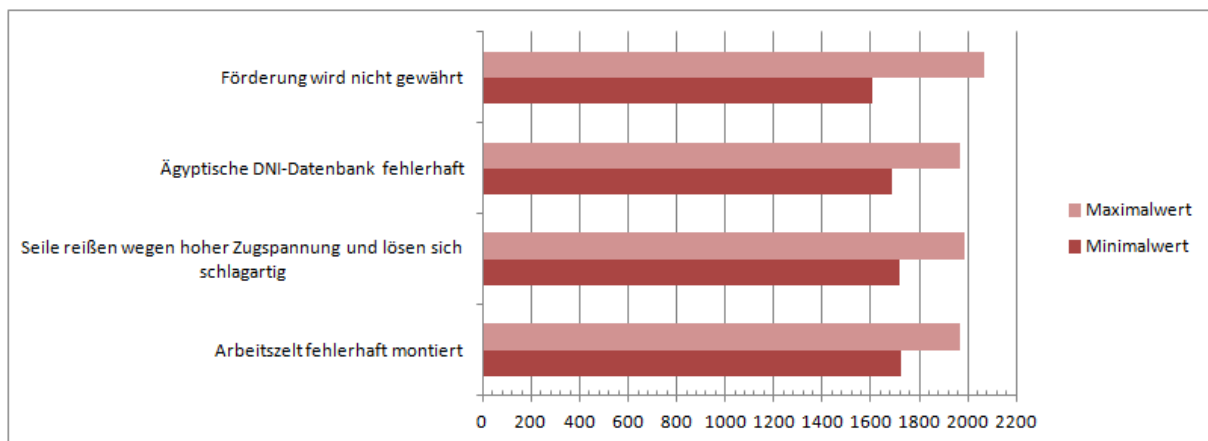


Abbildung 22: Simulierte Auswirkung einzelner Arbeitspakete in Tagen auf die Gesamtdauer für das Pilotanlagenprojekt ohne Risikomaßnahmen

3.7.8.2 Simulation der Ergebnisse mit Risikomaßnahmen

Für die Simulation der Projektkosten unter aktiver Berücksichtigung der Risiken wurden die in Tabelle 12 gelisteten Maßnahmen miteinbezogen. Davon verursachen einige Maßnahmen, die parallel zu andern Aktivitäten ausgeführt werden können, keine zusätzlichen Kosten. Daher kristallisieren sich als weitere Kostenstellen lediglich die Einschulung der Arbeiter vor Beginn der Vorortmontage, die Beschaffung eines DNI-Datenerfassungssystems, eines Generators und Ersatzrollen sowie die Entnahme von Bodenproben heraus. Somit ergibt sich für die Projektgesamtkosten ein Mittelwert von EUR 170.757 (siehe Abbildung 23). Zu 95% wird der Betrag von EUR 200.884 nicht überschritten. Vom Erwartungswert entfallen EUR 48.411 auf Kosten, die durch den Eintritt von Risiken entstehen. Die Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der Kosten durch Risikoeintritt kann Abbildung 24 entnommen werden. Die Werte sind logischerweise kleiner als jene der Simulation ohne Berücksichtigung von Risikomaßnahmen, da durch die Maßnahmen die

Eintrittswahrscheinlichkeit von Risiken wesentlich reduziert werden kann. Die Haupttreiber der Dauer sind hier wie bei den Kosten zu hohen Forderungen qualifizierter Arbeitnehmer, Verlust an Personal an etabliertere Unternehmen und Verweigerung der beantragten Projektförderung. Zusätzlich fällt das Risiko, dass CSP-Anlagen zu Gunsten anderer Anlagen nicht mehr unterstützt werden, ins Gewicht. (Siehe Abbildung 25)

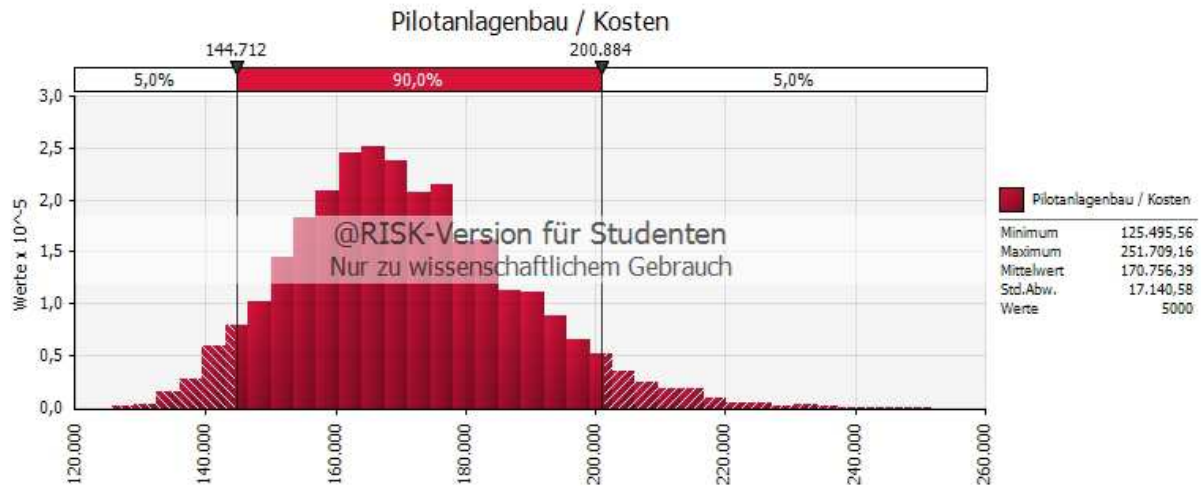


Abbildung 23: Simulierte Projektgesamtkosten unter Einbeziehung von Risikomaßnahmen

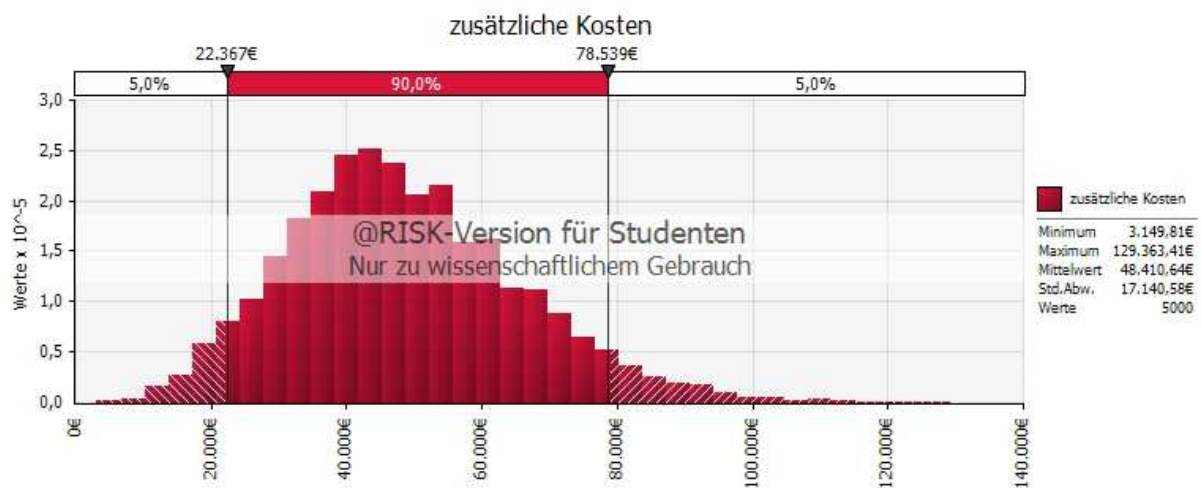


Abbildung 24: Durch Risiken entstehende simulierte Kosten unter Einbeziehung von Risikomaßnahmen

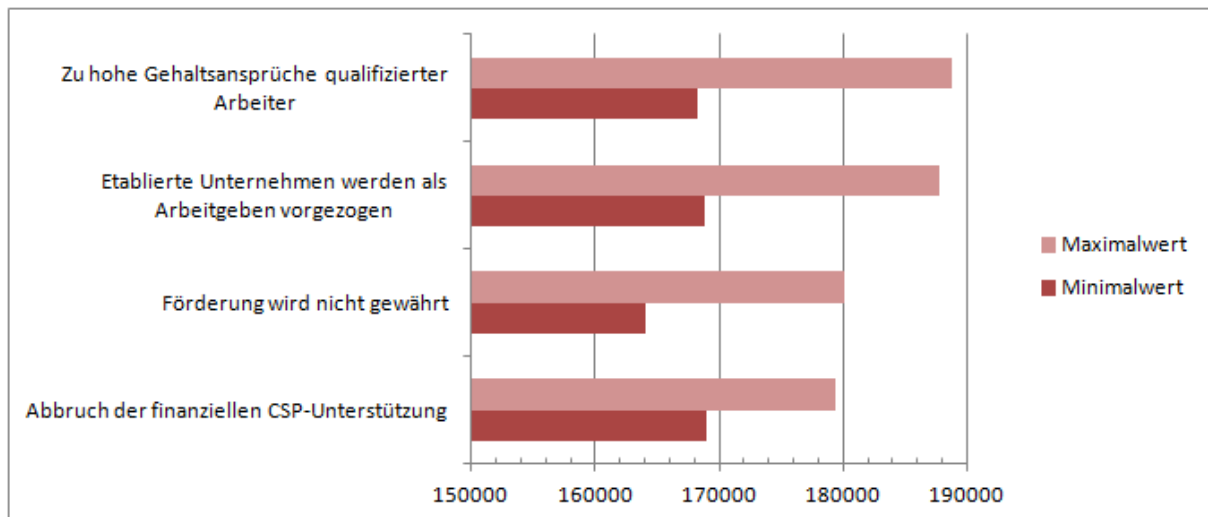


Abbildung 25: Simulierte Auswirkung einzelner Arbeitspakete in Euro auf die Projektgesamtkosten unter Einbeziehung von Risikomaßnahmen

Die Projektgesamtdauer kann durch die Risikomaßnahmen zudem deutlich reduziert werden. Entprechend der in Abbildung 26 dargestellten Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der für das Projekt benötigten Tage, kann eine Dauer von 975 Tagen als Erwartungswert angenommen werden. 1.395 Tage werden in 95% der Fälle nicht überschritten. Vom Mittelwert entfallen 664 Tage auf Zusatztage durch Eintritt von Risiken, wie der Verteilung in Abbildung 27 entnommen werden kann. Haupteinflussfaktoren sind dabei eine etwaige Verweigerung der finanziellen Fördermittel oder weiterer Geldtranchen im Rahmen der Förderung, ein hoher Nacharbeitungsbedarf, der erst durch Messungen an der Pilotanlage sichtbar werden sowie eine inkorrekte Anzahl an Abhängern für die Spiegel. (Siehe Abbildung 28)

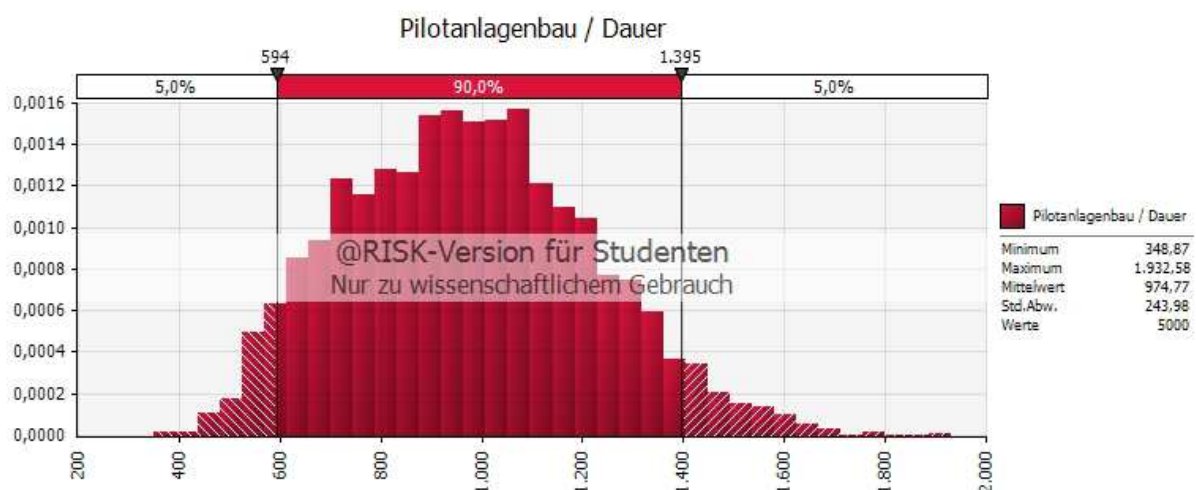


Abbildung 26: Simulierte Projektgesamtdauer unter Einbeziehung von Risikomaßnahmen

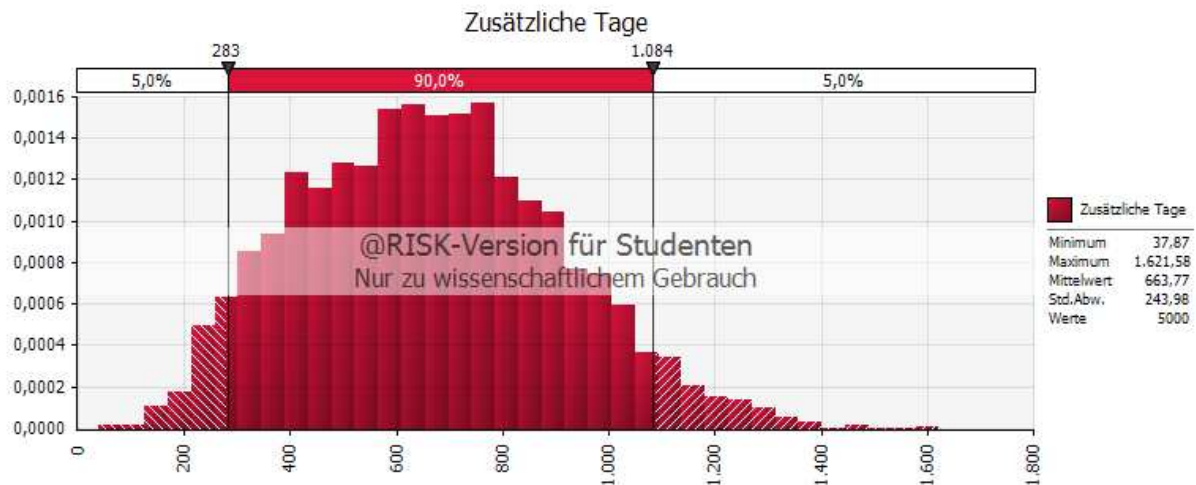


Abbildung 27: Durch Risiken entstehende simulierte zusätzliche Dauer in Tagen unter Einbeziehung von Risikomaßnahmen

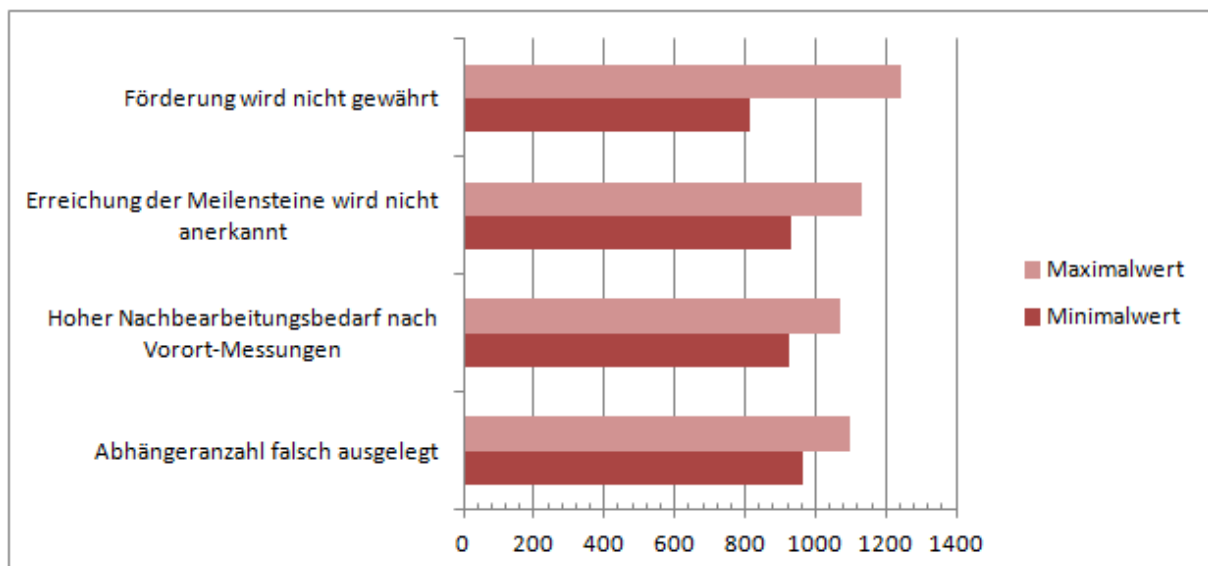


Abbildung 28: Simulierte Auswirkung einzelner Arbeitspakete in Tagen auf die Projektgesamtdauer unter Einbeziehung von Risikomaßnahmen

3.7.9 Fazit

Durch die parameterstochastische Risikoanalyse können wesentliche Aussagen über den Projektverlauf getroffen werden, während gleichzeitig der Vorteil der Anwendung von Risikomaßnahmen deutlich sichtbar gemacht werden kann. Werden keine Risikomaßnahmen umgesetzt, so belaufen sich - unter Berücksichtigung variabler Kosten für Ressourcen und Abweichungen von deterministisch gesetzten Arbeitspaketdauern - die zu erwartenden Projektkosten auf EUR 228.382. Für den Erwartungswert der Projektdauer konnte ein Wert von 1.779 Tagen berechnet werden. Werden die Kosten und die Dauer unter Einbezug von Risikomaßnahmen ermittelt, so ergeben sich Mittelwerte von lediglich EUR 170.757 und 975 Tagen.

Anhand der Wahrscheinlichkeitsverteilungen kann je nach Risikopräferenz bestimmt werden, mit welcher Konfidenz das gesetzte Budget eingehalten werden kann.

Tabelle 13 liefert ergänzend Information über den kritischen Index einzelner Arbeitspakete. Dieser stellt die Wahrscheinlichkeit dar, dass ein Arbeitspaket die Gesamtdauer des Projekts beeinflusst und somit kritisch ist. Bei der Darstellung wurde zwischen den beiden Szenarien mit bzw. ohne Risikomaßnahmen unterschieden. Jedoch ist erkennbar, dass die Werte nicht bedeutend von einander abweichen. Mit einer Wahrscheinlichkeit von rund 53% liegen die Arbeitspakete „Komponentenauswahl“, „Bestellung Folien“, „Vorbereiten Reflektor“, „Komponentenpaketversand“, „Montage Unterbau“, „Verankerung im Fundament“ und „Einschulung“. Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die zusätzliche Betrachtung der entscheidenden Wichtigkeit, die in beiden Szenarien für alle Pakete gleich Null ist. D.h. keines der Arbeitspakete hat einen gravierenden Einfluss auf die Projektgesamtdauer, gegeben den Fall, dass es kritisch wird.

Tabelle 13: Kritischer Index und entscheidende Wichtigkeit der Arbeitspakete

Vorgangsname	Entscheidende Wichtigkeit	Wichtiger Index mit Risikomaßnahmen	Wichtiger Index ohne Risikomaßnahmen
Pilotanlagenbau			
1. Stakeholder-Kontakte	0	0%	0%
1.1. Förderprogramme	0	0%	0%
1.2. TU Kairo	0	0%	0%
1.3. Firmen	0	0%	0%
2. Organisatorisches	0	0%	0%
2.1. Simulationen und Modifikationen	0	0%	0%
2.2. Komponentenauswahl	0	52,9%	53%
2.3. Verträge	0	0%	0%
2.4. Werkzeug-/Arbeitsplanung	0	0%	0%
2.5. Organisatorisches abgeschlossen	0	0%	0%
3. Projektmanagement			
3.1. Planung	0	0%	0%
3.2. Überwachung	0	0%	0%
3.3. Controlling	0	0%	0%
4. Bestellungen			
4.1. Bestellung Alu-Bleche	0	0%	0%
4.2. Bestellung Profile	0	0%	0%
4.3. Bestellung Elektronik	0	0%	0%
4.4. Bestellung Rohre und Anschlüsse	0	0%	0%
4.5. Bestellung Kleinkomponenten	0	0%	0%
4.6. Bestellung Folien	0	52,9%	53%
4.7. Bestellung Pumpen	0	0%	0%
4.8. Bestellung HTF	0	0%	0%
4.9. Bestellung Wärmetauscher	0	0%	0%
4.10. Komponenten alle geliefert			

Vorgangsname	Entscheidende Wichtigkeit	Wichtiger Index mit Risikomaßnahmen	Wichtiger Index ohne Risikomaßnahmen
5. Komponenten vorbereiten			
5.1. Vorbereiten Unterkonstruktion	0	0%	0%
5.2. Vorbereiten Reflektor	0	52,9%	53%
5.3. Vorbereiten Elektronik	0	0%	0%
5.4. Rohrleitungfittings	0	0%	0%
5.5. Komponenten versandfertig			
6. Standortvorbereitung			
6.1. Landbearbeitung	0	0%	0%
6.2. Montagezelt	0	0%	0%
6.3. Arbeitsmaschinen/Werkzeuge bereitstellen	0	0%	0%
6.4. Infrastruktur vorbereiten	0	0%	0%
6.5. Fundament gießen	0	0%	0%
6.6. Standort vorbereitet			
7. Transport			
7.1. Komponentenpaketversand	0	52,9%	53%
7.2. Lieferung vorort			
8. Vorortmontage			
8.1. Montage Unterbau	0	52,9%	53%
8.2. Verankerung im Fundament	0	52,9%	53%
8.3. Montage Reflektor	0	25,92%	26,58%
8.4. Montage Elektronik	0	27,1%	26,64%
8.5. Montage Wärmetauscher	0	0%	0%
8.6. Rohrverlegung	0	0%	0%
8.7. Einschulung	0	52,9%	53%
8.8. Pilotanlagenaufbau abgeschlossen			

4 Marktanalyse für den Mittleren Osten und Nordafrika

4.1 Überblick über die Energiesituation

4.1.1 Fossile Ressourcen

Mehr als ein Drittel der Erdgasreserven und mehr als die Hälfte der weltweiten Rohölreserven lagern im MENA Erdreich. Infolgedessen können täglich 1,6 Milliarden Kubikmeter Erdgas sowie 0,4 Milliarden Liter Rohöl gefördert werden. Hieraus resultieren für die Region eine weitgehende Unabhängigkeit von Energieimporten und ein starkes wirtschaftliches Wachstum durch Energieexporte. Für die lokale Bevölkerung bedeutete dies günstige Brennstoffpreise und Wohlstand. Die seit der Jahrtausendwende steigenden globalen Ölpreise, momentaner Preisfall ausgeschlossen, haben MENA wirtschaftlich sehr positiv beeinflusst. Der wirtschaftliche Wohlstand führte in weiterer Folge zu verstärkter Urbanisierung und starkem Bevölkerungswachstum - 50% der Einwohner sind mittlerweile unter 25 Jahre alt. Eine Region, die im Vergleich zu anderen Weltregionen wie Europa, Nordamerika und Südostasien stets eine geringe Industrialisierung und Einwohneranzahl aufwies, hat sich, nach Südostasien, zu der weltweit wirtschaftlich am zweitschnellsten wachsenden Region entwickelt. Mit dem Wachstum geht folglich ein deutlich erhöhter Energieverbrauch seitens der Bevölkerung einher. Aber auch seitens der Industrie wurde, aufgrund des billig zur Verfügung stehenden Rohstoffs, wenig auf Energieeffizienz Wert gelegt und ein hoher Verbrauch verursacht. Pro Jahr steigt die Nachfrage in der MENA Region daher um fünf bis neun Prozent und es wird erwartet, dass sie bis 2030 den weltweiten Durchschnitt übersteigt.^{128,129}

Der historische Verlauf des Energiekonsums und der Energieintensität der Region im Vergleich zu anderen Weltregionen ist in Abbildung 29 und Abbildung 30 anhand der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten der Energieintensität und des -verbrauchs eindeutig zu erkennen. Die Wachstumsraten des Energiekonsums gingen, als die Ölförderung stark expandierte, vom Level der 70er Jahre, der alle weltweiten Standards weit überschritt, allmählich zurück. Jedoch gelang es erst in den 2000ern den Trend der ansteigenden Energieintensität zu wenden, während alle anderen Länder bereits Jahrzehnte zuvor Einsparungen vorantrieben.^{130,131}

¹²⁸ vgl. Dii, 2013, S.6

¹²⁹ vgl. OECD, 2013, S.22

¹³⁰ vgl. ispy publishing, 2013, S.13

¹³¹ vgl. El-Katiri, 2014, S.3

Zu unterscheiden sind in der Region bezüglich der Energieunabhängigkeit und deren Konsequenzen nettoenergieimportierende (NÖIL) und nettoenergieexportierende Länder (NÖEL). Unter den nettoenergieexportierenden Ländern befinden sich das Königreich Saudi Arabien, der Irak, Iran, Algerien, Kuwait, Libyen, Katar, Jemen und die Vereinigten Arabischen Emirate. Bedingt durch das sehr hohe Ressourcenaufkommen wird mehr Öl als für den Bedarf der lokalen Bevölkerung erforderlich gefördert. Somit kann der Überschuss exportiert werden. Zu den nettoimportierenden Ländern zählen Jordanien, Tunesien, Marokko und der Libanon – Länder, die auf den Erdölimport aus beispielsweise dem Irak und Saudi Arabien angewiesen sind. Zwischen den regional eng verwobenen NÖIL und den NÖEL bestehen für gewöhnlich Vereinbarungen, wodurch NÖIL die Ressourcen zu einem günstigeren Preis von den NÖEL beziehen können als auf dem globalen Markt.^{132,133,134}

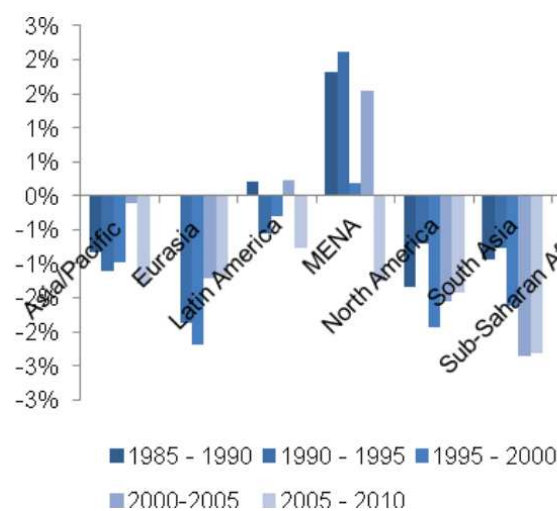


Abbildung 29: Regionale Energieintensität auf Basis der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten zwischen 1985-2010¹³⁵

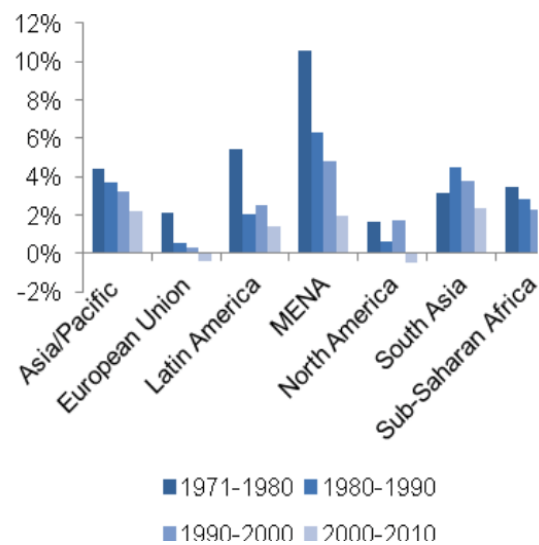


Abbildung 30: Regionaler Energieverbrauch auf Basis der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten zwischen 1971-2010¹³⁶

4.1.2 Potential der Solarenergie

Die MENA Region hebt sich auch durch eine sehr hohe Direktnormalstrahlung deutlich von den restlichen Erdteilen ab (vereinzelt Regionen ausgenommen). Abbildung 31 zeigt dies mittels verschiedenfarbiger Markierung der Regionen, je nach deren direkter solaren Einstrahlung. Grün bildet Regionen mit sehr schwacher, dunkelrot Regionen mit sehr starker direkter Einstrahlung ab. Dabei ist die Direktnormalstrahlung, die ausschließliche Strahlung, die gemäß der beschriebenen konstruktiven Voraussetzungen von PTCs konzentriert werden kann und liefert auch

¹³² vgl. El-Katiri, 2014, S.5

¹³³ vgl. OECD, 2013, S.23

¹³⁴ vgl. ispy publishing, 2013, S.13

¹³⁵ vgl. ebenda

¹³⁶ vgl. ebenda

bei den weiteren CSP-Kollektoren den höchsten Ertrag. Den Geoinformationsdaten nach eignen sich somit europäische, nordamerikanische sowie asiatische Länder zum Großteil nicht so gut für CSP-Technologien wie die MENA Region. Eine feinere Bewertung nach Ländern in MENA kann anhand der Informationen von Abbildung 32 geschehen, wonach u.a. in Saudi Arabien, Jemen und Ägypten die höchste Direktnormalstrahlung auftritt.^{137,138}

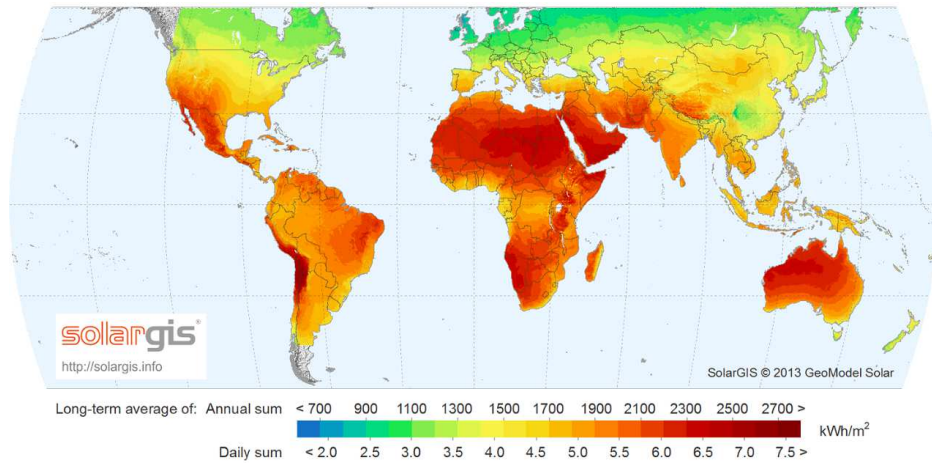


Abbildung 31: Überblick über die weltweite solare Direktnormalstrahlung, rote bis dunkelrote Bereiche weisen eine sehr hohe Direktnormalstrahlung auf¹³⁹

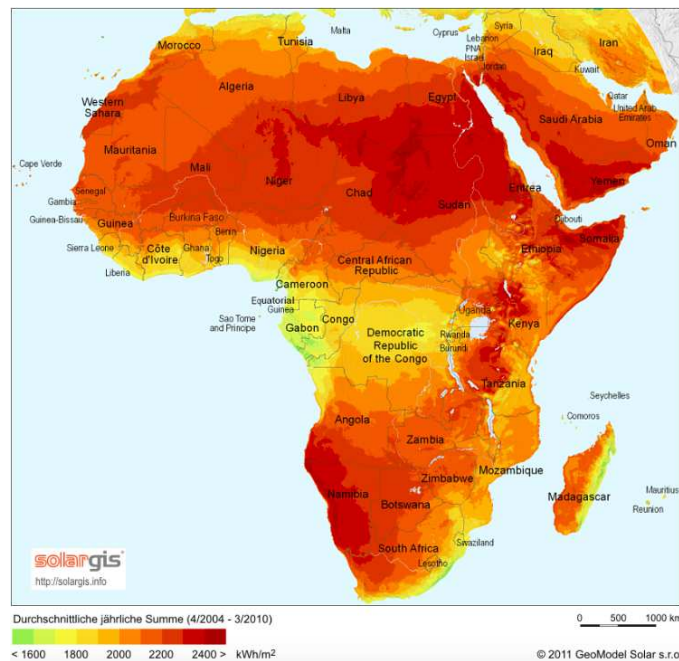


Abbildung 32: Karte zur Darstellung der durchschnittlichen solaren Direktnormalstrahlung von Afrika und dem Mittleren Osten¹⁴⁰

¹³⁷ vgl. http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-World-map-en.png

¹³⁸ vgl. http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Africa-and-Middle-East-de.png

¹³⁹ vgl. http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-World-map-en.png

¹⁴⁰ vgl. http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Africa-and-Middle-East-de.png

In den letzten Jahrzehnten wurde im Bereich CSP speziell in Spanien und den USA sehr viel Forschungsarbeit geleistet und Anlagen errichtet. Spanien verzeichnet 2,30 GW installierte und die USA 3,47 GW insgesamte Leistung, d.h. in Bau befindliche und geplante Anlagen mit eingeschlossen. Trotz des hohen Forschungsaufwands schafften es die konzentrierenden Solarkraftwerke, deren Haupteinsatz in der Elektrizitätserzeugung liegt, bisher nicht, preislich wettbewerbsfähig zu werden. Der Preisunterschied zu fossilen Brennstoffen lag bisher bei mindestens dem Doppelten, was durch die kostenintensive Konstruktion, die Arbeitskraftintensität sowie die lange Amortisationszeit bedingt ist.^{141,142}

Aufgrund der Subventionspolitik, politisch motivierter Klimaziele und wirtschaftlicher Potentiale konzentrieren sich daher derzeit die Projekte auf andere Weltregionen. In der MENA Region würde sich das gezeichnete Szenario wegen der hohen Direktnormalstrahlung und dem somit höheren Output ggf. anders gestalten. Aus Sicht der Anlageneffizienz eignet sich diese Region wesentlich besser für den Einsatz von CSP-Anlagen. Dieser wirtschaftliche Vorteil ist mittlerweile mehreren Anlagenherstellern, wie Siemens und Abengoa, bewusst, aber auch Stiftungen und Initiativen wurden gegründet. Zu einem der bekanntesten Projekte zählte das in seiner Urform gescheiterte Desertec Projekt, das zusammen mit Partnern aus der Industrie vorangetrieben wurde, um ein Netz bis nach Europa zu schaffen und somit in Europa MENA Solarenergie nutzen zu können.

4.1.3 Änderung der Grundhaltung zu erneuerbaren Energien

Entgegen dem Trend des auch künftig steigenden fossilen Brennstoffkonsums, werden sich die MENA Regierungschefs allmählich des ungenutzten Potentials und der Bedeutung erneuerbarer Energien in der Region bewusst. Wobei sich die Bedeutung für NÖIL und NÖEL in manchen Aspekten unterscheidet. Allgemein gültig ist die Tatsache, dass die Erschließung eines neuen Marktes die Wirtschaft belebt und Arbeitsplätze schafft. Des Weiteren werden die Länder mit hohem Energiebedarf für die erforderlichen Entsalzungsanlagen, die die Süßwasserknappheit ausgleichen, konfrontiert, wodurch sich der bereits erhöhte Energiebedarf über die Sommermonate sogar noch verdoppelt. Gleichzeitig entstehen durch internationale Abkommen zum Klimawandel immer mehr finanzielle Anreizsysteme klimaschonende Anlagen zu testen und zu installieren. Der Unterschied ergibt sich für NÖIL und NÖEL bei der Kostendifferenz, die durch den vermehrten Energiebedarf entsteht.¹⁴³

In den NÖIL zeigen sich die Preisaspekte durch den erhöhten Bedarf an Energieimporten, die über die Zeit teurer werden. Alte Verträge mit NÖEL, die starke

¹⁴¹ vgl. <http://www.solarpaces.org/csp-technology/csp-projects-around-the-world>

¹⁴² vgl. CSP Today, 2008, S.8

¹⁴³ vgl. OECD, 2013, S.25

preisliche Vergünstigungen sichern, laufen allmählich aus und werden in diesem Ausmaß nicht wieder aufgesetzt. Dem entgegen steht eine Bevölkerung, die es gewohnt ist, stark subventionierte Energiepreise zu genießen. Eine kurzfristige Anpassung der Inlandsölpreise würde daher in einer Region, die derzeit bereits für Unruhen und Instabilität bekannt ist, zu zusätzlichen Unruhen in der Bevölkerung führen. Es bietet sich somit an, Alternativen zu testen und den Markt der erneuerbaren Energien auszubauen. Wobei zusätzlich Fördergelder kassiert und ein florierenderer Arbeitsmarkt geschaffen werden könnten.^{144,145}

Für NÖEL stellen die steigenden Opportunitätskosten zufolge der Energiesubventionspolitik ein Hauptkostenkriterium dar. Die Opportunitätskosten sind hier Repräsentant des entgangenen Erlöses durch Inlandskonsum anstelle des Verkaufs auf dem globalen Energiemarkt. Jedoch gestaltet sich deren Berechnung schwierig und hat noch keinen internationalen Standard erreicht. Grund dafür ist in den NÖEL, dass der Ölpreis mit den langfristigen Grenzkosten der Produktion pro Energieeinheit statt mit dem internationalen Energiepreis ausgezeichnet wird. Damit wird auch das Potential der erneuerbaren Energien in einem Missverhältnis widergegeben, da sie gegen ein verzerrtes Preisniveau ankämpfen müssen. Würde sich sinnvollerweise ein Vergleich mit Energiepreisen auf internationalem Marktniveau als Berechnungsgrundlage etablieren, wäre der Einsatz erneuerbarer Energien jedoch profitabel.¹⁴⁶

In Bezug auf die Erschließung des erneuerbaren Energiemarktes entstehen außerdem Vorteile durch die Ankurbelung der Wirtschaft und des Arbeitsmarktes basierend auf lokal ausgeführten Projektaufträgen. Durch die letzten krisenerschütterten Jahre wurden die Länder in der Region vermehrt wirtschaftlich geschwächt und politische Systeme instabil. Ein angeregter Arbeitsmarkt kann hier zu einer guten Grundlage für mehr Ausgeglichenheit führen.

Anreize, lokale Arbeitskräfte bei Projekten im Bereich erneuerbare Energien einzusetzen, werden daher von Regierungsorganisationen im Rahmen der Vergabekriterien für Bauvorhaben gegeben. So werden Projekte deutlich bevorzugt, die einen bestimmten Prozentsatz der Arbeitskraft lokal beziehen. Ein weiterer Vorteil erneuerbarer Energieanlagen ist im Hinblick auf neu zu schaffende Jobs, dass der Betrieb wesentlich arbeitskraftintensiver ist als bei der fossilen Energiegewinnung. Dadurch können Beschäftigungsrückgänge ausgeglichen werden, die durch die effizienteren und automatisierteren Anlagen zur Gewinnung fossiler Brennstoffe entstanden sind. In Marokko erwartet man z.B., dass bei einer Entwicklung des Marktes gemäß dem National Renewable Energy and Efficiency Plan bis 2020 40.000 neue Jobs entstehen und Investitionen von rund 420 Millionen Euro getätigt

¹⁴⁴ vgl. El-Katiri, 2014, S.5

¹⁴⁵ vgl. El-Katiri, 2014, S.15

¹⁴⁶ vgl. El-Katiri, 2014, S.11

werden. Entsprechend einer 2012 von Plan Bleu und der Europäischen Investmentbank durchgeführten Studie sollen bis 2030 allein in den südostmediterranen Ländern, darunter z.B. Ägypten, insgesamt 1,9 bis 2,5 Millionen Arbeitsplätze, über alle für das Betreiben erneuerbarer Energieanlagen involvierten Bereiche verteilt, entstehen. Es wird jedoch auch erwartet, dass sich der Fortschritt bei der Herstellung komplexer Bauteile nur langsam entwickeln wird und internationale Kooperationen und Joint Ventures einen entscheidenden Stellenwert haben werden.^{147,148}

Ergänzende externe finanzielle Anreize entstehen beispielsweise durch Bestimmungen des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) zu Klimazielen und deren monetär unterstützte Umsetzung. Wie in weiterer Folge noch genauer erörtert wird, haben sich demzufolge bereits mehrere MENA Länder dazu bekannt, die Implementierung erneuerbarer Energieanlagen zu fördern. Die gesetzten Ziele beziehen sich dabei meist auf Prozentsätze der erneuerbaren Energien vom gesamten Energiemix. Für den Zeitraum wird meist eine Periode bis 2025 oder 2030 gewählt. Unklar sind in diesem Zusammenhang die Folgen des in der zweiten Hälfte von 2014 gefallenen Ölpreises. Dieser fiel von \$112.36 pro Barrel am 30. Juni 2014 auf \$61.60 am 22. Dezember 2014. Bloomberg-Analysten gehen in ihrem im Dezember 2014 veröffentlichten Report davon aus, dass sich in Ländern mit stabilem Bekenntnis zu erneuerbaren Energien geringe Einbußen bei der Implementierung alternativer Energieanlagen ergeben werden. Grund dafür sind die international wahrnehmbare, starke politische Motivation und die im Rahmen von internationalen Vereinbarungen fixierten Ziele. In Ländern mit geringerer politischer Konsolidierung, wie auch in MENA der Fall, wird jedoch eine gewisse Unsicherheit erkannt, was die Umsetzung der optimistisch gesetzten Ziele anbelangt.^{149,150,151}

4.1.4 Solarenergie im Energiemix

4.1.4.1 Umsetzungsstrategien

Vergleicht man NÖIL und NÖEL bezüglich ihres Anteils an erneuerbaren Energien, so kommt man jeweils auf den gleichen Prozentsatz, wobei es hier weiterer Differenzierung bedarf. Aufgeteilt in traditionell eingesetzte Energieformen wie Wasserkraft und Biomasse zum Kochen und moderne wie Photovoltaik (PV), CSP, Wind etc. entsprechen moderne Anwendungen nur 5% des erneuerbare Energien Gesamtmixes in NÖEL und 28% in NÖIL. Eine starke Wachstumsrate kann jedoch in

¹⁴⁷ vgl. OECD, 2013, S.29ff.

¹⁴⁸ vgl. ISE et al., 2011, S.6

¹⁴⁹ vgl. El-Katiri, 2014, S.11

¹⁵⁰ vgl. OECD, 2013, S.25

¹⁵¹ vgl. <http://about.bnef.com/press-releases/oil-price-plunge-clean-energy-real-impact/>

beiden Fällen beobachtet werden. Besondere Bedeutung im Rahmen der Erweiterung erneuerbarer Energieanlagen findet in der MENA Region die CPS Technologie. Grund dafür sind die sinkenden Anlagenkosten sowie die Besonderheit der Speicherung, wie sie bei PV-Anlagen nicht besteht. Auch der Windenergiegewinnung wird entsprechende Aufmerksamkeit geschenkt, da sie die bekannteste moderne erneuerbare Energiequelle, mit großen Potentialen in Tunesien, Ägypten und Marokko ist. Jedoch unterliegen die Windbedingungen wesentlich größeren Schwankungen als die solare Einstrahlung und nur 40% der MENA Region setzen sie ein, während Solarenergie überall genutzt wird und 42% aller laufenden Projekte für sich beansprucht.¹⁵²

Aufgrund der Aktivitäten der letzten Jahre haben sich einige Unternehmen mit der Produktion von Komponenten für erneuerbare Energieanlagen beschäftigt. Derzeit ist es noch nicht möglich komplexe CSP-Teile in ausreichender Qualität zu fertigen, doch es wird an Verbesserung gearbeitet. Einen Überblick über die derzeitige solarthermische Marktgröße gibt Tabelle 14. Syrien ist laut dem Letztstand der Datenaufzeichnungen, und somit ungeachtet der momentanen geopolitischen Ereignisse, im Bereich der Hersteller klarer Vorreiter mit 25 Unternehmen. Der Libanon und Marokko führen bei der Anzahl der Händler. Bezüglich Firmen, die die Installation übernehmen, liegt Tunesien mit deutlichem Vorsprung an erster Stelle, gefolgt von Marokko und dem Libanon. Der Grund für den riesigen Vorsprung Tunesiens sind die starken Bemühungen des Programms PROSOL, solare Heizungssysteme voranzutreiben. Zur Organisation der Industrie haben sich zudem Vereinigungen gebildet, wie die Solar Development Association in Ägypten.^{153,154}

Tabelle 14: Überblick über den solarthermischen Markt in MENA¹⁵⁵

	Land	Vereinigung	Hersteller	Händler	Monteur
NÖEL	Algerien	-	2	n/a	n/a
	Ägypten	Solar Energy Development Association (SEDA)	4	14	5
	Syrien	-	25	8	n/a
NÖIL	Israel	Renewable Energy Association of Israel (REAI)	10	6	n/a
	Jordanien	-	3	10	13
	Libanon	Lebanese Association of Solar Industrialists (LASI)/Lebanese Solar Energy Society	12	100	105
	Marokko	Association Marocaine des Industries Solares et Eoliennes (AMISOLE)	2	50	200
	Palästina	-	15	n/a	n/a
	Tunesien	Chambre Syndicale Nationale des Energies Renouveables (CSNER)	10	49	1150

¹⁵² vgl. IRENA et al., 2013, S.8ff.

¹⁵³ vgl. IRENA et al., 2013, S.32f.

¹⁵⁴ vgl. IRENA et al., 2013, S.14

¹⁵⁵ vgl. ebenda

Ein Beleg dafür, dass das Vorantreiben erneuerbarer Energieanlagen hauptsächlich in den Händen der Politik liegt und sich daraus die entsprechenden Finanzierungsmöglichkeiten ergeben, zeigt bestärkend auch eine von Ernst & Young durchgeführte Studie zu erneuerbaren Energien in der MENA Region. Die Befragten kamen aus verschiedenen Berufsfeldern wie Produktion, Bankenwesen, Projektentwicklung, Lehre, öffentlicher Sektor, NGOs und multilateralen Organisationen, die in der Region sowie außerhalb tätig sind. Demnach sehen 44% den Hauptfaktor für den Erfolg von erneuerbaren Energien bei den von den Regierungen gesetzten politischen Rahmenbedingungen. 21% sehen den Erfolgsfaktor bei den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln. Dabei werden das Königreich Saudi Arabien, die Vereinigten Arabischen Emirate und Katar als die für den Einsatz von alternativen Energien attraktivsten Länder angesehen, wie in Abbildung 33 dargestellt ist.¹⁵⁶

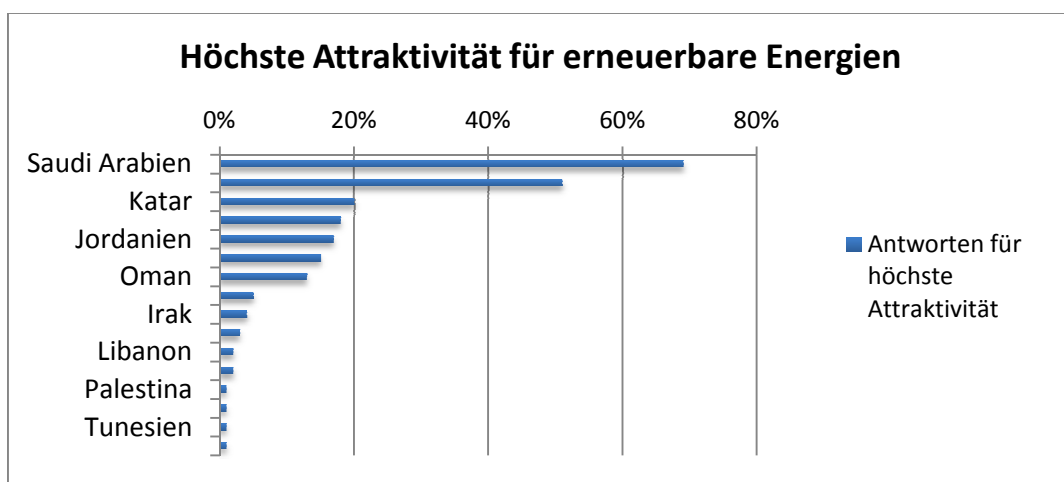


Abbildung 33: Länder der MENA Region gelistet nach deren Attraktivität für erneuerbare Energien in der 5-Jahresvorschau¹⁵⁷

Betrachtet man in diesem Zusammenhang die gesetzten Ziele des öffentlichen Sektors, unterscheiden sie sich teils deutlich je nach Land. Einige Länder sehen speziell in der Solarenergie große Möglichkeiten.

Ägypten setzte sich das Ziel bis 2020 20% der Elektrizität aus erneuerbaren Energien zu erhalten. Dabei sollen 1,1 GW aus CSP-Projekten gewonnen werden. Bis 2027 soll die installierte CSP-Leistung weiter auf 2,8 GW steigen. Algerien staffelt anders als Ägypten die Ziele in noch kleineren Einheiten. Somit sind für 2015 325 MW vorgesehen, bis 2020 eine Steigerung auf 1,5 GW und bis 2030 schließlich auf 7,2 GW. Kuwait und Tunesien sehen bis 2030 1,1 GW bzw. 0,5 GW CSP-Leistung vor. Weniger technologiedifferenziert sind die Pläne von Marokko mit 2 GW bis 2020, Israel 1,75 GW und Katar 0,64 GW gesamter solarer Leistung. Klarer Vorreiter ist Saudi Arabien. Bis 2022 sind 17,35 GW solare Leistung geplant – bis 2032 sogar 41

¹⁵⁶ vgl. Ernst & Young, 2013, S.15f.

¹⁵⁷ vgl. Ernst & Young, 2013, S.16

GW, wobei 25 GW von CSP-Anlagen und 16 GW von PV-Anlagen erzeugt werden sollen. Wie im Fall von Saudi Arabien, so gilt auch in der gesamten Region der Trend, dass mehr CSP- als PV-Anlagen in Planung sind. Grund dafür ist die bei CSP vorhandene Speichermöglichkeit. Bei allen Zahlenwerten ist zusätzlich anzumerken, dass sie Anlagen für solare Beheizung oder Kühlung nicht berücksichtigen. Dies lässt sich durch die Kategorisierung dieser Anwendungsformen in den Bereich Energieeffizienz anstatt Energiegewinnung erklären.^{158,159}

4.1.4.2 Bestehende Anlagen und initiierte Projekte

Die Vielzahl der solaren Projekte im CSP-Bereich kann in einem groben Überblick Abbildung 34 entnommen werden. Mit gesamt 1,193 GW Leistung, aufsummiert über alle Projekte von Entwicklungsphase bis in Betrieb, hebt sich die MENA Region nach den Vorreitern USA und Spanien deutlich von anderen Regionen ab. Auffallend ist dabei auch die hohe Anzahl an Projekten, die sich noch in der Entwicklungsphase befinden. Dies weist auf das hohe Potential hin, das in der Technologie gesehen wird.¹⁶⁰

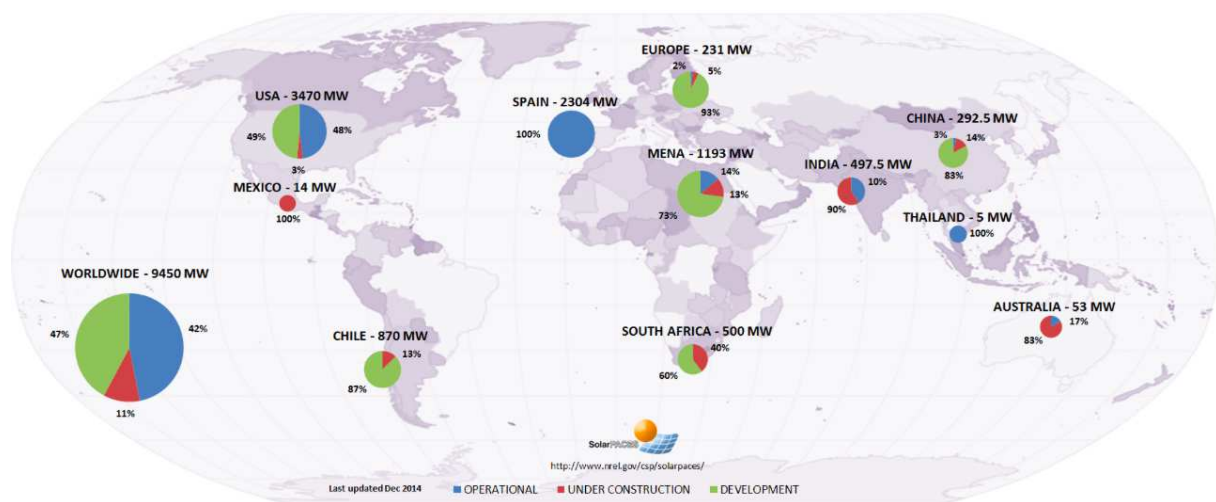


Abbildung 34: CSP Projektstatus weltweit¹⁶¹

Auf die einzelnen Länder in der MENA Region heruntergebrochen, ist die hohe Zahl bereits installierter CSP-Anlagen noch auffälliger. In Anhang 16 werden hierzu die momentan bestehenden Anlagen bzw. laufenden Projekte zu CSP den einzelnen Ländern zugeordnet. Hierfür wurden Daten von namhaften Datenbank-Plattformen kombiniert, um ein möglichst umfassendes Abbild des Ist-Zustandes zu generieren. Insgesamt konnten auf diesem Weg 85 Anlagen erfasst werden. Jedoch kann aufgrund der Komplexität durch nicht oder nicht einheitlich angegebene Daten die Vollständigkeit der Liste nicht garantiert werden. Viele Anlagen sind noch in der

¹⁵⁸ vgl. IRENA et al., 2013, S.18f.

¹⁵⁹ vgl. OECD, 2013, S.103

¹⁶⁰ vgl. IRENA et al., 2013, S.8ff.

¹⁶¹ vgl. <http://www.solarpaces.org/csp-technology/csp-projects-around-the-world>

Planungs- oder Entwicklungsphase, wobei die Vereinigten Arabischen Emirate, Marokko und Israel insgesamt besonders viele Anlagen aufweisen. Zudem beruht ein hoher Prozentsatz der gelisteten Anlagen auf dem Parabolrinnenprinzip.^{162,163}

4.1.5 Hemmnisse

Eine deutlich wahrnehmbare Hürde für CSP-Kraftwerke sind die hohen Kosten. Diese entstehen einerseits aus den Kosten für die Errichtung der Anlage sowie aus den hohen Zinssätzen für Kapital. In Europa oder Amerika ist z.B. der Risikozuschlag vergleichsweise gering, da von einer eher stabilen wirtschaftlichen und politischen Lage ausgegangen werden kann. Länder der MENA Region haben sich aber bisher als politisch instabil erwiesen, mit keinen klar in die Tat umgesetzten wirtschaftlichen Bekenntnissen zur Solarenergie. Dies birgt viele Risiken mit großen Tragweiten, weswegen von Investoren eine westenlich höhere Absicherung angestrebt wird – mit Zinsen zwischen 15% und 20%. Somit werden wiederum die Stromgestehungskosten in die Höhe getrieben und die Technologie verliert an Konkurrenzfähigkeit im Vergleich zu herkömmlichen, fossilen Energiekonzepten.^{164,165}

Ein weiterer Aspekt sind Schwankungen des Ölpreises. Wie sich in der Vergangenheit gezeigt hat, tendieren Länder in Zeiten hoher Ölpreise dazu, erneuerbare Energien zu unterstützen. Bei sinkenden Preisen wiederum sinkt das Interesse in den Bau von Alternativenanlagen zu investieren. Diesem Verhalten sind bereits mehrere geplante Anlagen zum Opfer gefallen. Die weitere Planung geriet ins Stocken und somit verzögerte sich der Bau deutlich. Unterstützung findet der Ausbau erneuerbarer Energien in solchen Situationen durch internationale Vereinbarungen und Kooperationen, die eine gewisse Vertragsbindung aufweisen. Da hierdurch kontinuierliche wirtschaftliche Anreize geschaffen werden, droht den erneuerbaren Energien kein zu gravierender Bedeutungsverlust, wohl aber eine Verzögerung.^{166,167}

Die Energiesubventionspolitik ist zudem ein großes Hindernis in den MENA Ländern. Am Beispiel Saudi Arabiens zeigt die Subventionspolitik folgende Ausprägung: Bürger zahlten 2012 für häusliche Zwecke, gekennzeichnet durch eine sehr geringe monatliche Abnahme, pro Kilowattstunde nur EUR 0,01. In der teurer eingestuften Abnehmerklasse für gewerbliche Zwecke wurden auch nur EUR 0,03 verlangt. Diesem Preis können erneuerbare Energie mit EUR 0,04 bis EUR 0,25, mit PV und

¹⁶² vgl. [http://www.csp-world.com/cspworldmap?field_country_map_tid\[0\]=414&field_country_map_tid\[1\]=419&field_country_map_tid\[2\]=752&field_country_map_tid\[3\]=517&field_country_map_tid\[4\]=728&field_country_map_tid\[5\]=891&field_country_map_tid\[6\]=904&field_country_map_tid\[7\]=417&field_country_map_tid\[8\]=792&field_country_map_tid\[9\]=554&field_country_map_tid\[10\]=729&field_country_map_tid\[11\]=453&&order=name&sort=asc](http://www.csp-world.com/cspworldmap?field_country_map_tid[0]=414&field_country_map_tid[1]=419&field_country_map_tid[2]=752&field_country_map_tid[3]=517&field_country_map_tid[4]=728&field_country_map_tid[5]=891&field_country_map_tid[6]=904&field_country_map_tid[7]=417&field_country_map_tid[8]=792&field_country_map_tid[9]=554&field_country_map_tid[10]=729&field_country_map_tid[11]=453&&order=name&sort=asc)

¹⁶³ vgl. <http://locator.solarmiddleeast.ae>

¹⁶⁴ vgl. Allal, 2010, S.17

¹⁶⁵ vgl. Moser et al., 2013, S.136

¹⁶⁶ vgl. ebenda

¹⁶⁷ vgl. Solar Server, 2011, S.3

Wind als günstigste Alternativen bei optimalen Bedingungen, nur schwer Paroli bieten. Wettbewerbsfähig könnten erneuerbare Energien nach dieser Rechnungslegung somit in den meisten MENA Ländern derzeit nur für große Abnehmer im industriellen Bereich sein. Hier werden, wie in Abbildung 35 zu sehen ist, wesentlich höhere Preise pro Kilowatt verlangt.¹⁶⁸

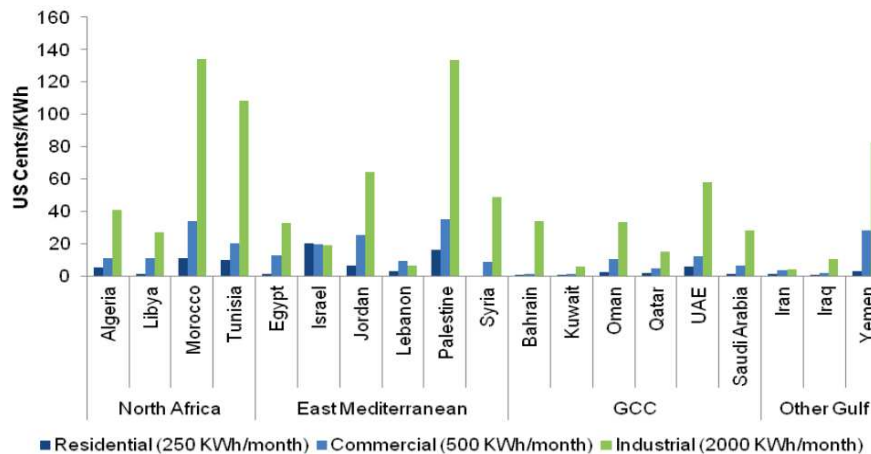


Abbildung 35: Preisvergleich verschiedener MENA Länder nach Energieabnehmern: Privatsektor, Gewerbe und Industrie¹⁶⁹

Neben der Verzerrung der Wettbewerbsfähigkeit führen die Ölpreissubventionen durch die resultierenden Staatsbudgeteinschnitte auch zu einer deutlichen Unterfinanzierung des Netzes und weiteren Förderungen im Elektrizitätsbereich. Hinzu kommt, dass fast die Hälfte der Stromrechnungen nicht bezahlt werden oder an das Stromnetz illegal angeschlossen wird. Dadurch wird die Rentabilität für neue Konzepte der Energiegewinnung zusätzlich erschwert.¹⁷⁰

Weiters sind keine Einspeisungstarife festgesetzt, wie dies z.B. in Deutschland der Fall ist. Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristika der Netze ist zu überdenken, welches Subventionskonzept für das jeweilige Land am besten geeignet ist. Im MENA-Fall wäre eine unbegrenzte Einspeisung dezentral produzierter Energie kein allgemein tragbares Konzept. Jedoch würde sich in diesen Ländern eine Unterstützung in Form von günstigen Krediten oder internationalen Zusicherungen anbieten. Auch die Steuerfreiheit für zu verbauende Komponenten wurde diskutiert. Derzeit sind diese Strategien jedoch mehr im Gespräch als in die Tat umgesetzt.^{171,172}

Hinzu kommt, dass die Netze der MENA Region nicht flächendeckend ausgebaut sind. Während sich CSP-Anlagen besonders in Wüsten bzw. Regionen hoher DNI, die meist weit von Ballungszentren entfernt sind, bewähren, besteht das Problem der

¹⁶⁸ vgl. El-Katiri, 2014, S.11

¹⁶⁹ vgl. El-Katiri, 2014, S.10

¹⁷⁰ vgl. Aquamarine Power, 2010, S.65

¹⁷¹ vgl. Moser et al. 2013, S.136f.

¹⁷² vgl. The World Bank, 2012, S.133

Übertragbarkeit. Es muss ggf. auf netzunabhängige Anwendungen zurückgegriffen werden. Auch die länderübergreifende Stromversorgung, mit der der Handel mit erneuerbarer Energie vorangetrieben werden kann, ist noch sehr unausgereift. Durch Initiativen des MENA CSP-Investitionsplans sind zwei Projekte in Gang gesetzt worden, ein Projekt zum Ausbau der Stromleitungen zwischen Italien und Tunesien und das Mashreq CSP-Projekt. Insgesamt sollen USD 5,6 Milliarden für den Ausbau des Netzes in Marroko, Jordanien, Algerien, Tunesien und Ägypten investiert werden. Zudem zeigt das Gulf State Cooperation Council mit dem Bestreben Saudi Arabien, Kuwait, Bahrain, Katar, die Vereinigten Arabischen Emirate und den Oman zu vernetzen die Absicht zu mehr Netzintegration. Auch das Seven Countries Interconnection Projekt wurde gestartet, um den Irak, Libanon, Jordanien, die Türkei, Syrien, Ägypten und Libyen mit Stromnetzen zu verbinden. Desertec hat sich um weitere Leitungen bemüht.^{173,174}

4.2 Solarkonzentrierende Entsalzung

Aufgrund des Bevölkerungsanstiegs in Kombination mit den klimatischen Bedingungen werden die Süßwasserressourcen in MENA immer knapper. Neben dem bereits sehr trockenen Klima werden in Zukunft noch geringerer Regenfall, erhöhte Trockenheit und Hitze erwartet. Dadurch kann sich für manche Regionen ein Rückgang an Wasserressourcen von bis zu 40% ergeben. Gleichzeitig geht die Prognose der Vereinten Nationen davon aus, dass sich die Bevölkerungszahl im Vergleich zu 2007 auf 600 Millionen in MENA verdoppeln wird. Aufgrund der eher mangelhaften Koordination der Grundwasserentnahme und -rückführung ist des Weiteren zu befürchten, dass sich diese Frischwasserquelle erschöpfen wird und der Grundwasserspiegel sinkt, was gravierende Folgen hätte. Abgesehen von den weitläufigen Süßwasserreservoirs in Libyen¹⁷⁵, sind Süßwasserquellen bereits heutzutage in der MENA Region weitgehend ausgeschöpft, während sich jedoch noch große salzhaltige Brackwasserreservoirs erschließen ließen. Ebenso kann als Wasserquelle das anschließende Meer dienen. Für diese beiden umfangreich vorhandenen Wasserquellen werden jedoch Aufbereitungstechnologien benötigt, um genießbares bzw. auch für die Landwirtschaft nutzbares Wasser zu gewinnen. Eine Darstellung der pro Land für 2040 bis 2050 prognostizierten Wasserengpässe gibt Abbildung 36.^{176,177,178}

¹⁷³ vgl. The World Bank , 2012, S.137f.

¹⁷⁴ vgl. Aquamarine Power, 2010, S.66

¹⁷⁵ vgl. <http://www.theguardian.com/environment/2011/may/27/libya-water-hidden-weapon>

¹⁷⁶ vgl. Aquamarine Power, 2010, S.62ff.

¹⁷⁷ vgl. Moser et al., 2013, S. 122f.

¹⁷⁸ vgl. The World Bank , 2012, S.46ff.

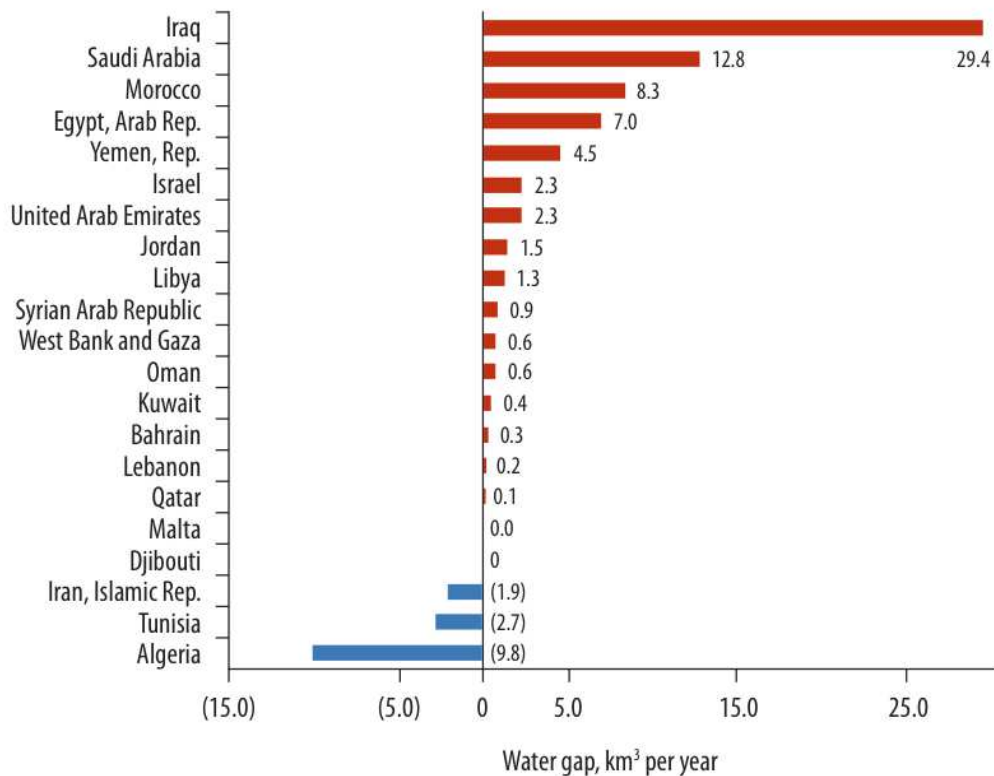


Abbildung 36: Für 2040-2050 erwarteter Wasserengpass nach Land in km³ pro Jahr, blaue Balken weisen auf vorhandene Wasserreserven hin, rote auf Wasserengpässe¹⁷⁹

Klarer Spitzenreiter ist der Irak mit 29,4 km³/Jahr Wassermangel, gefolgt von Saudi Arabien (12,8 km³/Jahr), Marokko (8,3 km³/Jahr) und Ägypten (7 km³/Jahr). Um die künftige Wasserknappheit zu bewältigen, können mehrere Strategien verfolgt werden. Einerseits kann versucht werden, den Umgang mit Wasser effizienter zu gestalten, indem man Wasser wieder aufbereitet oder den landwirtschaftlichen Einsatz optimiert. Andererseits kann versucht werden, die Nachfrage sowohl im häuslichen, industriellen als auch landwirtschaftlichen Bereich zu senken – was jedoch eine vergleichsweise unrealistische Option ist. Eine weitere Möglichkeit wäre die Steigerung der verfügbaren Wassermenge. Hier setzten die Entsalzungsanlagen an. Seit den 1950ern sind die Anlagen wirtschaftlich geworden, kommen seitdem zum Einsatz und werden kontinuierlich weiterentwickelt, um die Effizienz zu steigern und die Kosten bzw. den Energieaufwand zu senken. 60% der installierten Kapazität befindet sich mittlerweile in MENA.^{180,181,182}

¹⁷⁹ vgl. The World Bank, 2012, S.52

¹⁸⁰ vgl. Aquamarine Power, 2010, S.62ff.

¹⁸¹ vgl. Moser et al., 2013, S. 122f.

¹⁸² vgl. The World Bank, 2012, S.46ff.

4.2.1 Technologien für Entsalzungsanlagen

Für die Entsalzung haben sich bis zum heutigen Zeitpunkt zwei Hauptkategorien herausgebildet. Einerseits die thermische durch Verdampfung und andererseits die auf Membranen basierende Entsalzung. Die bekanntesten und am häufigsten umgesetzten sind die Multistage-Flash-Distillation (MSF), die Multi-Effect-Distillation (MED) und die Reverse Osmosis (RO). Anfänglich wurde bei großen Anwendungen aufgrund ihrer Robustheit ausschließlich auf die MSF-Technologie gesetzt. Erst mit der Zeit gewannen die MED und RO an Bedeutung. Mittlerweile hat die MED, deren Entsalzungskonzept wie das der MSF auf thermischer Energie basiert, einen höheren Wirkungsgrad erreicht, benötigt im Vergleich dreimal weniger elektrische Energie und geringere Kühlung. Beide Technologien sind sehr verlässlich und unabhängig vom Salzgehalt des zugeführten Wassers. Oft werden sie auch in Anlagenkombinationen eingesetzt, die sowohl zur Süßwasser- als auch Elektrizitätsgewinnung dienen. Die RO hingegen arbeitet mit semipermeablen Membranen, die Wasser durchlassen, jedoch das Salz in der Einspeisekammer halten. So kann u.a. erreicht werden, dass die als Nebenprodukt entstehende, aus Umweltsicht eher schwierig zu handhabende Sole auf die halbe Menge reduziert wird. Zudem hängt hier, im Gegensatz zu den anderen Technologien, der Energieaufwand direkt mit dem Salzgehalt zusammen. D.h. während bei den anderen Technologien immer gleich viel Energie pro Liter entsalztem Wasser aufgewendet werden muss, sinkt der Energieaufwand bei der RO bei geringerem Salzgehalt des eingespeisten Wassers. Dies lässt vergleichsweise eine erhebliche Kostenreduktion beim Betrieb mit Brackwasser zu und ermöglicht eine hohe Anpassungsfähigkeit an lokale Bedürfnisse. Dies birgt jedoch auch die Problematik von ggf. hohem Aufwand für die vorgeschaltete Aufbereitung des Wassers in sich. Nachdem jedoch die technologischen Innovationen auch bei den Membranen deutliche Fortschritte zeigen, werden vorwiegend RO-Anlagen bei neuinstallierten Entsalzungsanlagen eingesetzt und es wird auch für die Zukunft erwartet, dass RO die dominierende Technologie darstellen wird. Lediglich in den Golfstaaten könnte MSF der Hauptvertreter bleiben. Grund ist die vorrangige Entsalzung von Meerwasser, wodurch bei der RO aufgrund schlechterer Verträglichkeit von hohen Salzgehalten die Vorteile nicht zum Tragen kommen. Einen detaillierteren Überblick über den Salzgehalt in Abhängigkeit von den lokalen Verhältnissen zeigt Abbildung 37. Dabei ist die Temperatur nur für die Effizienz der RO zusätzlich zum Salzgehalt bedeutsam, hohe Temperaturen des eingespeisten Wassers beeinträchtigen MSF und MED nicht. Bzgl. des Energieaufwands schneidet die RO mit $3,5 \text{ kW}_{\text{el}}/\text{m}^3$ elektrischer Energie bei geringerem Salzgehalt und $4,5 \text{ kW}_{\text{el}}/\text{m}^3$ bei hohem Salzgehalt vergleichsweise gut ab. MED Anlagen weisen $1,5 \text{ kW}_{\text{el}}/\text{m}^3$ bis $2,5 \text{ kW}_{\text{el}}/\text{m}^3$ bzw. $233 \text{ MJ}/\text{m}^3$ bis $258 \text{ MJ}/\text{m}^3$, d.h. elektrische Leistung bzw. Wärme pro Kubikmeter, entsalztes Wasser auf. MSF Technologien $3 \text{ kW}_{\text{el}}/\text{m}^3$ bis $5 \text{ kW}_{\text{el}}/\text{m}^3$ und ebenfalls $233 \text{ MJ}/\text{m}^3$ bis $258 \text{ MJ}/\text{m}^3$ für die benötigte Prozesswärme. Eine

Kostenverteilung ist in Anhang 17 visualisiert. Deutlich erkennbar ist, dass bei MSF und MED die für den Entsalzungsprozess benötigte Energie in etwa 50% aller Kosten ausmacht. Bei der RO sind dies nur 33%, da keine thermische Energie aufzuwenden ist. Zu berücksichtigen ist bei der Interpretation der Werte, dass die thermischen Technologien schon einen hohen Reifegrad erreicht haben, während bei der RO noch Innovations- und somit Verbesserungspotential besteht.^{183,184,185}

Wasserquelle	Salzgehalt (mg/L)	Temperatur (°C)
Mittelmeer und Atlantik	38.000 - 41.000	15 - 30
Rotes Meer und Indischer Ozean	41.000 - 43.000	20 - 35
Golfwasser	45.000 - 47.000	20 - 35

Abbildung 37: Salzgehalt und Temperatur nach Region¹⁸⁶

4.2.1.1 Erneuerbare Energien im Wettbewerb

Um das Potential an erneuerbaren Energien einzelner Länder zu bestimmen, müssen Geodaten ausgewertet werden. Diese erfassen die Direktnormalstrahlung ebenso wie die Windgeschwindigkeiten, Wasserkraft- oder Biomassedaten. Das ermittelte Potential einzelner MENA Länder kann jedoch anhand der daraus gezogenen Schlüsse nur mit einer Unschärfe von $\pm 30\%$ angegeben werden. Diese allgemeine Analyse erneuerbarer Energien in der Region ist die grundlegende Voraussetzung für eine korrekte Bewertung der Solarthermie in MENA. So kann abgeschätzt werden, welche Konkurrenz durch andere erneuerbare Energien besteht. Potential, das auch wirtschaftlich vertretbar ist, ist nach Ländern und Energiequellen in Anhang 18 wiedergegeben. Alle gelisteten Energiequellen – Wasserkraft, Geothermie, Biomasse, konzentrierte Solarkraft, Windkraft und Photovoltaik – liefern elektrische Energie und können grundsätzlich auch für das Betreiben von Entsalzungsanlagen genutzt werden. Wärme, die ebenfalls für Entsalzungskonzepte benötigt wird, kann jedoch nur durch Geothermie, Biomasse und CSP erzeugt werden. Genauere Charakteristika der einzelnen Energiequellen sind in Tabelle 15 zusammengefasst. Auffallend sind hier neben den unterschiedlichen möglichen Leistungsgrößen auch die über das Jahr gesehen stark variierende Anlagenverfügbarkeit und die Sprünge in der als sicher angenommenen Kapazität. Erstere geben Aufschluss über die Anlagengröße bzw. das mögliche Elektrizitätsvolumen, das zur Verfügung gestellt werden kann. Die Anlagenverfügbarkeit hingegen gibt in Prozent die Kapazität an, die im Vergleich zur installierten, theoretisch verfügbaren Kapazität über das Jahr genutzt werden kann.

¹⁸³ vgl. The World Bank , 2012, S.63ff.

¹⁸⁴ vgl. Moser et al., 2013, S. 123

¹⁸⁵ vgl. Allal, 2010, S.12f.

¹⁸⁶ vgl. The World Bank , 2012, S.70

Bei der als sicher angenommenen Kapazität ist der Prozentsatz, aufgrund der Ressourceneigenschaften, lediglich bei Biomasse, Geothermie und Wasserkraft hoch. Bei den anderen Konzepten verursachen Schwankungen im Ressourcenangebot Unsicherheiten.¹⁸⁷

Tabelle 15: Charakteristika erneuerbarer Energien¹⁸⁸

	Leistung	Jahresanlagenverfügbarkeit	Sicher-gestellte Kapazität	Energieoutputsart	Anmerkung
Wasser	1kW-200MW	10%-90%	50%-90%	Elektrizität	Gut speicherbar, auch als Pumpspeicher für andere Energiequellen möglich, jahreszeitenabhängig
Biom.	1kW-25MW	40%-60%	50%-90%	Elektrizität und Wärme	Gut speicherbar, jahreszeitenabhängig, nach Bedarf regelbar
Geoth.	25MW-50MW	40%-90%	90%	Elektrizität und Wärme	Nach Bedarf regelbar, keine Schwankungen
CSP	10kW-200MW	20%-90%	0%-90% (abhängig vom Speicher und Hybridbetrieb)	Elektrizität und Wärme	Schwankungen können durch Speicher und Hybridanlagen ausgeglichen werden, nach Bedarf regelbar
Wind	1kW-5MW	15%-50%	0%-15%	Elektrizität	Schwankungen, Verfügbarkeit von Ressource abhängig
PV	1W-5MW	5%-25%	0%	Elektrizität	Schwankungen, Verfügbarkeit von Ressource abhängig

Wind ist je nach Land eine gute Variante zur Energiegewinnung bzw. Entsalzung. Würde man das gesamte Potential der MENA Region zusammenfassen, könnte man auf 25% des aktuellen Energiebedarfs kommen. Jedoch ist Wind in MENA keine beständige Energiequelle und so kann im Schnitt nur von einer gesicherten Leistung von 15% der installierten Leistung ausgegangen werden. Gemäß der Karte zu den regionalen Windgeschwindigkeiten, Abbildung 38, sind wirtschaftlich nutzbare Windstärken besonders in Nordafrika vorherrschend, z.B. in Libyen, Ägypten oder Algerien.^{189,190}

¹⁸⁷ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.8-110

¹⁸⁸ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.8-114

¹⁸⁹ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.8-112

¹⁹⁰ vgl. The World Bank, 2012, S.79f.

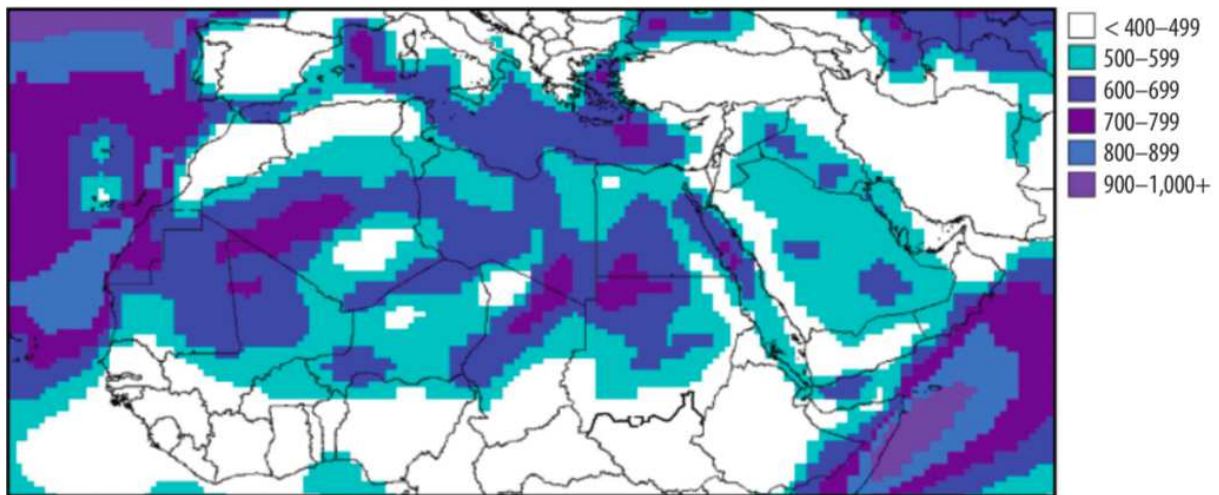


Abbildung 38: Windgeschwindigkeit in MENA im Jahresdurchschnitt 80m über dem Boden¹⁹¹

Mit Photovoltaik verhält es sich ähnlich wie mit der Windkraft, da nur zu den Spitzenzeiten Energie gewonnen werden kann, nicht aber in der Nacht. Daher eignet sich diese Technologie am besten zur Einspeisung in das Netz und kommt auf nur 356 TWh/Jahr. CSP kommt auf 462.000 TWh/Jahr für die gesamte MENA Region. Während bei den anderen Anlagentypen nicht gespeichert werden kann, lässt sich die Wärme, die aus dem CSP-Solarfeld kommt, leicht in Wärmespeichern aufbewahren bis sie benötigt wird. So kann beispielsweise auch ein Nachtbetrieb der Anlage ermöglicht werden. Hinzu kommt der mögliche Hybridbetrieb mit fossilen Energieanlagen, wodurch theoretisch Energie erzeugt werden kann, die den derzeitigen Konsum der Region um das 350-fache übersteigt. Bei der Berechnung wurden bereits Flächen exkludiert, die sich wegen der natürlichen Voraussetzungen nicht für den Anlagenbau eignen. Anhand der nach Ländern sortierten Tabellenwerte in Anhang 18 kann leicht erkannt werden, dass diese erneuerbare Energiequelle in der gesamten MENA Region, mit zwei bis drei Ausnahmen, am meisten Potential hat. Bis zu einem Äquivalent von 2 Millionen Barrel Öl pro Kubikmeter pro Jahr können durch Sonnenenergie gewonnen werden. Geothermie kann zum Ausgleich von Energiespitzen z.B. der Photovoltaik und Windenergie dienen. Jedoch werden Temperaturdifferenzen von 180 Grad benötigt, um den für die Elektrizitätsgewinnung benötigten Dampf zu erzeugen. In MENA kommen solche Temperaturunterschiede in Ägypten, Yemen, Saudi Arabien und Djibouti vor. Jedoch müssen aufwendige Bohrungen und Tests den Anlagenkonstruktionen vorangehen und die Kapazität beschränkt sich meist auf 100 W. Daher stellt diese Anlagenart eher eine Variante zum Ausgleich von Schwankungen anderer Energiequellen und nicht eine alleinstehende Energiequelle dar. Wasser und Biomasse sind beide sehr gut speicherbare Energieträger, die nach Bedarf eingesetzt werden können. Jedoch sind sie eher rar in der Region, mit weiterhin rückgängiger Tendenz und sollten eher ebenfalls zum Lastenausgleich verwendet werden. Wasserkraft macht derzeit 2,5%

¹⁹¹ vgl. The World Bank , 2012, S.79

der Energieversorgung der Region aus. Würde man jegliche verfügbare Biomasse addieren, so käme man auf 111 TWh/Jahr.^{192,193}

Zum Vergleich der Schwankungsresistenz und Technologieunabhängigkeit der verschiedenen Anlagenkonzepte eignet sich eine Darstellung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) sehr gut, siehe Abbildung 39. Diese bildet Messungen ab, die an einer Wind-, PV- und CSP-Anlage zu je 10 MW in Hunghada in Ägypten genommen wurden. Hierbei ist deutlich zu sehen, dass lediglich die CSP-Anlage eine konstante Kapazitätsverfügbarkeit garantiert, während bei der Wind- und PV-Anlage jeweils erhebliches Back-up durch fossile Energieträger benötigt wird, um eine durchgehende Leistung zu sichern.¹⁹⁴

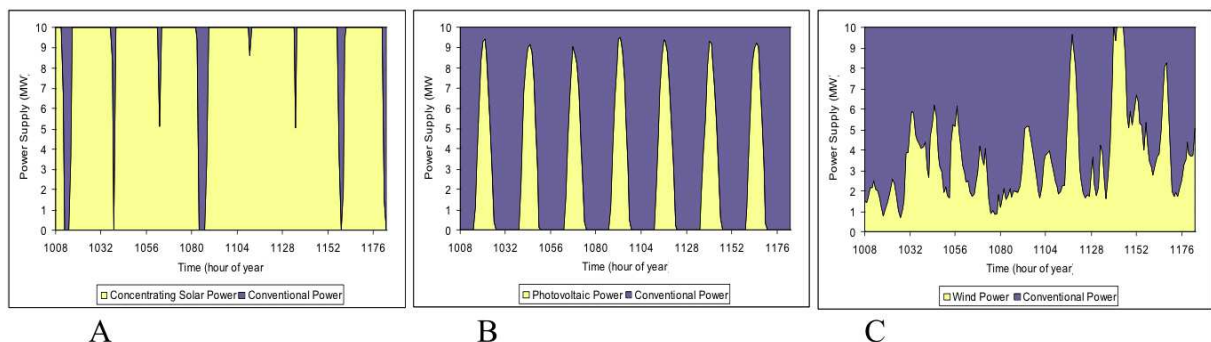


Abbildung 39: Verfügbare Leistung nach Anlagenart mit gelb für die jeweilige Anlagen-eigenproduktion und violett für Back-up Leistung durch fossile Energieträger (A : CSP, B: PV, C: Wind)¹⁹⁵

4.2.1.2 Solare Entsalzungseinheiten

Bei Entsalzungsanlagen, die mit Energieerzeugungsanlagen verbunden werden, muss immer eine Abstimmung der Anlageneinheiten aufeinander erfolgen. Neben den weiteren im vorhergehenden Abschnitt genannten Vorteilen der CSP wird hier besonders die konstante Leistung zum schlagenden Argument. Dadurch kann die Entsalzungsanlage auch direkt, ohne Zwischenschaltung des Stromnetzes, betrieben werden. Welche Entsalzungsart gewählt werden kann, hängt von der solaren Technologie ab. Parabolrinnen- und Fresnelkraftwerke können direkt mit einer MED-Einheit verbunden werden oder indirekt über eine Dampfturbine, wobei dann auch der Einsatz einer RO-Anlage möglich wird. Für punktkonzentrierende Kraftwerke ist neben der Dampfturbine auch das Zwischenschalten einer Gasturbine möglich, sodass wiederum beide Entsalzungsanlagenarten betrieben werden können. Die Verschaltungsprinzipien sind in Abbildung 40 näher dargestellt.¹⁹⁶

¹⁹² vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.8-109ff.

¹⁹³ vgl. The World Bank, 2012, S.79ff.

¹⁹⁴ vgl. Allal, 2010, S.11

¹⁹⁵ vgl. Allal, 2010, S.11

¹⁹⁶ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.4-50

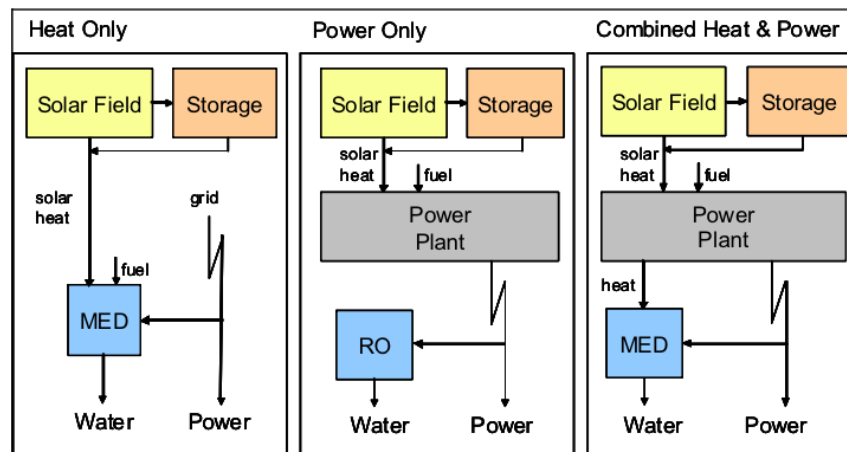


Abbildung 40: verschiedene Anlagenschaltpläne für den Einsatz von CSP-Anlagen als Energiequelle¹⁹⁷

Betrachtet man je nach Anlagenart die Kosten, die pro Kubikmeter entsalztes Wasser anfallen, so liegen die Kosten der RO, außer in der Golfregion, deutlich unter jenen der MED, siehe Abbildung 41. Bei der Kalkulation wurden sowohl die jährlichen Kapital-, Betriebs-, Wartungs-, Instandhaltungs- als auch Energiekosten und sonstige anfallende Kosten berücksichtigt. Auffallend ist, dass trotz des hohen internen Anlagenverbrauchs bei der RO die Gesamtkosten aufgrund der hohen Effizienz niedriger sind. Die anfallenden Elektrizitätskosten verschieben sich je nachdem, ob die CSP-Anlage in einer Küstenregion oder im Landesinneren errichtet wurde. Es ergeben sich hier Kostenstrukturunterschiede durch andere Kühlungsanforderungen. Wird nahe der Küste gebaut, so wird gewöhnlich mit Wasser gekühlt (3.800 Liter/MWh), für eine Kühlung im Landesinneren werden Luftkühlungssysteme verwendet. Diese bedürfen einer erhöhten Elektrizitätszufuhr bzw. führen zu einem geringeren Turbinenwirkungsgrad. Jedoch können so 90% der andernfalls anfallenden Wassermenge eingespart werden. Diese zwei Effekte heben sich hinsichtlich der Kosten gegenseitig auf, wodurch Anlagen an der Küste die gleichen Kosten verursachen. In der von Fichtner durchgeführten Kalkulation werden Grundstückskosten nicht berücksichtigt. Diese sind jedoch auch ein zentraler Aspekt, da gerade an der Küste die Preise meist um ein Vielfaches höher sind. Dies macht sich besonders bei der großen benötigten Fläche bemerkbar.¹⁹⁸

¹⁹⁷ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S. 6-87

¹⁹⁸ vgl. Moser et al., 2013, S.129ff.

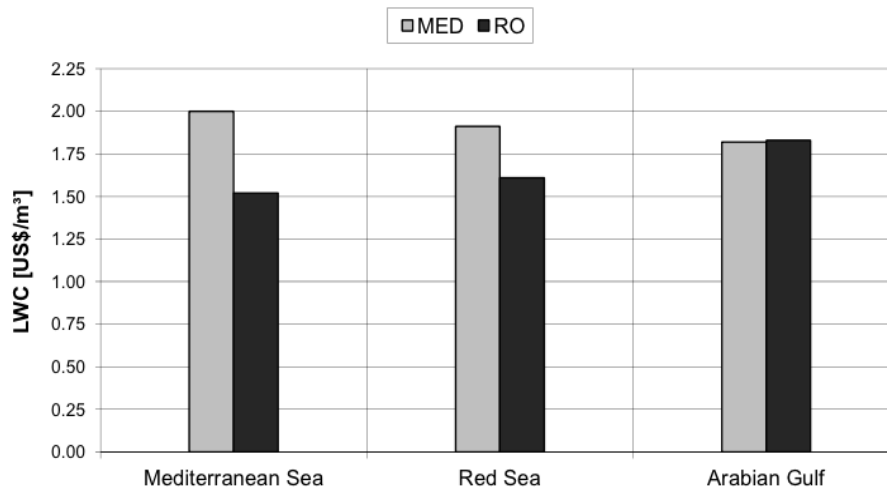


Abbildung 41: Levelierte Wasserkosten in US-Dollar pro Kubikmeter für RO und MED in den Regionen Mittelmeer, Rotes Meer und Arabischer Golf¹⁹⁹

Zu beurteilen bleibt, welche konzentrierende Technologie sich am ehesten für den Betrieb mit einer Entsalzungsanlage eignet. Punktkonzentrierende Anlagen eignen sich hervorragend, um sehr hohe Temperaturen und somit einen guten Wirkungsgrad zu erzielen. Jedoch sind die Konzepte entweder noch in der Prototypphase oder erst semi-kommerziell verfügbar. Dies führt dazu, dass noch wenige Erfahrungswerte vorliegen und Unsicherheiten nicht ausgeschlossen werden können. Zudem liegen die Kosten mit 4.000 bis 6.000 Euro pro Kilowatt bei Turm konzentrierenden Kraftwerken und 6.000 bis 10.000 Euro pro Kilowatt bei Dish Konzentratoren relativ hoch. Weitere negative Kriterien sind die für diese Technologie nicht ausgereiften Speichersysteme und die hohen Instandhaltungskosten. Fresnel-Kollektoren, die linienkonzentrierend arbeiten, erfordern Investitionskosten von 2.500 bis 4.000 Euro pro Kilowatt und sind mittlerweile kommerziell verfügbar. Ein großer Vorteil ist hier, wie auch bei den punktkonzentrierenden Konzepten, dass sie unabhängig von Steigungen in der Bodenfläche aufgestellt werden können. Dazu kommt ein sehr guter Flächennutzungsgrad. Eine Schwachstelle sind wiederum der geringe Erfahrungspool bezüglich Anlagenschwächen und somit die Zuverlässigkeit sowie noch unausgereifte Speicherkonzepte. CSP-Anlagen sind in dieser Kategorie somit die einzigen, die bereits seit einiger Zeit auf dem Markt sind und zu denen schon ausreichend Erfahrung gesammelt werden konnte, um einen reibungslosen Betrieb sicherzustellen. Zudem sind passende Speicherkonzepte erprobt. Die Kosten bewegen sich ungefähr im gleichen Bereich wie die bei den Fresnel-Kollektoren, können jedoch bis 6.000 Euro pro Kilowatt ansteigen. Als Nachteil ist hier die Notwendigkeit von ebenen Bebauungsflächen zu nennen, die nicht in allen Regionen für eine Anlagenerrichtung zur Verfügung stehen. Ebenso das Temperatur- und damit Wirkungsgradlimit aufgrund der beschränkten Temperaturresistenz des Wärmeträgerfluids. Weiters ist der Flächennutzungsgrad geringer als bei Fresnel

¹⁹⁹ vgl. Moser et al., 2013, S.131

Kollektoren. Trotz dieser Nachteile überwiegen bei der Technologie derzeit aufgrund der wichtigen Erfahrungswerte und der vorhandenen Speichersysteme deutlich die Vorteile gegenüber den anderen Varianten.^{200,201}

4.2.2 Natürliche Voraussetzungen

Um die Anwendbarkeit von CSP-Anlagen auf Basis fundierter Kenntnisse zu beurteilen, müssen neben technischen Qualifikationen und der Sonneneinstrahlung noch weitere Faktoren berücksichtigt werden. Beispielsweise kann in Naturschutzgebieten nicht gebaut werden, ebensowenig in mit Infrastruktur durchzogenen, dichter besiedelten Bereichen oder Städten. Hinzu kommen Aspekte der Topographie, Oberflächenstruktur und Geomorphologie. Parabolspiegelanlagen können nur bis zu einem gewissen Landneigungswinkel errichtet werden und brauchen einen soliden Untergrund bzw. Schutz vor u.a. Sandverwehungen. Abbildung 42 weist diese Flächen für die MENA Region aus. Weiße Flächen spiegeln geeignete Gebiete wieder, während eingefärbte Flächen für die jeweiligen Ausschlusskriterien stehen. Aus der Karte ist ersichtlich, dass sich weite Teile der Region sehr gut für CSP-Kraftwerke eignen. Die Vorteilhaftigkeit der Region wird im Vergleich mit den angrenzenden Regionen hervorgehoben, dennoch können Abstufungen gemacht werden. Während sich weite Teile Nordafrikas und die meisten Länder des Mittleren Ostens als hervorragend für Solarthermie erweisen, bestehen im Iran und Jemen deutliche Flächeneinschränkungen. Als von den natürlichen Voraussetzungen für CSP-Anwendungen bevorzugt erscheinen auch der Irak, Syrien und Libyen. Hierbei ist hervorzuheben, dass die Karte keine politischen Ausschlusskriterien und Instabilitäten berücksichtigt, wie sie derzeit gravierend in diesen Ländern vorherrschen. Für die Planung von Anlagen sollten diese Kriterien aber auf jeden Fall berücksichtigt werden.²⁰²

²⁰⁰ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.4-50ff., S. 6-87f., S. 8-145ff.

²⁰¹ vgl. Moser et al., 2013, S.126ff.

²⁰² vgl. Fichtner 2011, Task 2 S.5-72ff.

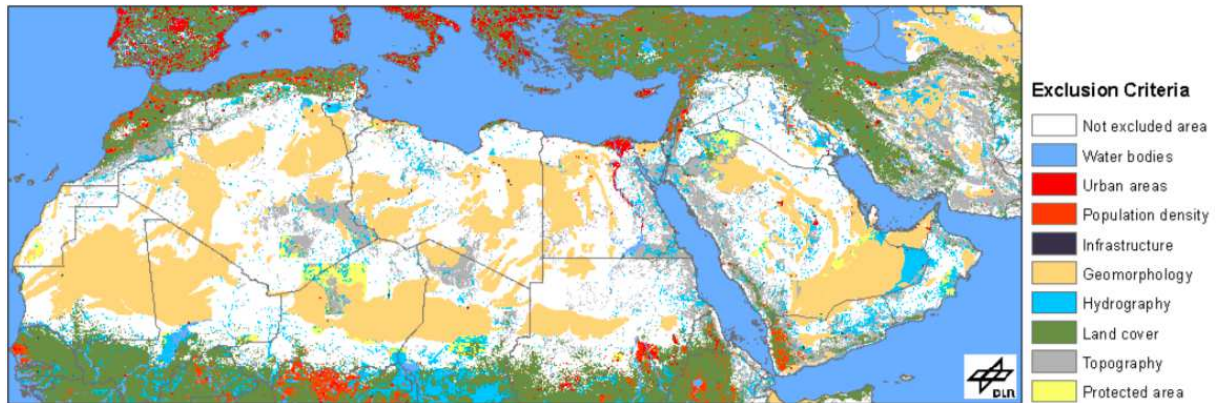


Abbildung 42: Für CSP-Anwendungen zur Verfügung stehende Landflächen (weiß) bzw. wegen Ausschlusskriterien exkludiertes Land (gelb: Naturschutzgebiet, grau: topographische Gründe, grün: Oberflächenkriterien, hellblau: hydrographische Gründe, beige: geomorphologische Gründe, dunkelblau: Infrastrukturbehinderung, hellrot: zu hohe Bevölkerungsdichte, dunkelrot: Städte, mittelblau: Wasser)²⁰³

Die detaillierte Liste der Ausschlusskriterien Anhang 19 entnommen werden. Hierbei wird zusätzlich zwischen zwei Szenarien unterschieden. Einerseits dem Szenario „Coast“, das CSP-Konzepte in Küstennähe zu Entsalzungszwecken berücksichtigt und bei denen die Verwendung sowohl von RO- als auch MED-Einheiten zulässig ist. Andererseits das Szenario „Total“, das alle CSP-Anwendungsmöglichkeiten berücksichtigt, die mit RO gekoppelt sind und sowohl zur Elektrizitätserzeugung als auch Wasserentsalzung dienen.²⁰⁴

Eben diese Kategorisierung wurde auch für die Ermittlung des Leistungspotentials in Abhängigkeit von der gemessenen Direktnormalstrahlung angewandt. Hierbei wurden das insgesamt technisch mögliche Potential ermittelt sowie das resultierende Potential bei ausschließlicher Berücksichtigung von auch wirtschaftlich geeigneten Flächen. Das maximale technische Durchschnittspotential liegt für das „Total“-Szenario bei ca. 72.00 TWh/Jahr bei 2.600 kWh/m² pro Jahr, für das „Coast“-Szenario bei ca. 240 TWh/Jahr bei 2.200 kWh/m² pro Jahr. Betrachtet man das Potential nach Ländern, so führt Algerien beim „Total“-Szenario deutlich mit 135.77 TWh/Jahr, gefolgt von Libyen mit 82.714 TWh/Jahr, Saudi Arabien mit 75.832 TWh/Jahr und Ägypten mit 57.140 TWh/Jahr. Für das „Coast“-Szenario ändert sich die Reihenfolge der Spitzenreiter etwas mit dem Iran mit 267 TWh/Jahr, Saudi Arabien mit 152 TWh/Jahr, Libyen mit 132 TWh/Jahr und Jemen mit 104 TWh/Jahr. Die Darstellungen können Anhang 20, Anhang 21 und Anhang 22 entnommen werden.²⁰⁵

²⁰³ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.5-72

²⁰⁴ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.5-73f.

²⁰⁵ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.5-82f.

4.2.3 Marktcharakteristika

Der allgemeine Entsalzungsmarkt ist auf Basis der Daten²⁰⁶, die von DesalData gesammelt und aktuell gehalten werden, gut zu analysieren. Nachteil ist jedoch die Indifferenz der Angaben hinsichtlich der Energiequelle. Erneuerbare Energieanlagen können aufgrund der großen Datenmenge daher nicht identifiziert und separat ausgewertet werden. Insgesamt sind 6.100 Entsalzungsanlagen in der MENA Region registriert. Davon werden 4.615 Anlagen mit RO-Einheiten betrieben, 476 mit MED-Einheiten und 427 mit MSF-Einheiten. Von den Reverse Osmosis Anlagen wird bei 57% Brackwasser, bei 36% Meerwasser und zu 0,6% Sole eingespeist. Bei MED-Konzepten liegen diese Prozentsätze jeweils bei 4%, 90% und ca. 3%, während sie bei MSF-Anlagen bei 0,6%, 99% und 0% liegen. Diese Verteilung, bei Inputs von steigendem Salzgehalt, spiegelt die Angaben über die Anlagen-eigenschaften recht präzise wider, zeigt aber auch, wie sehr sich der Markt für die Meerwasserentsalzung für RO-Konzepte geöffnet hat. Dies unterstützt die Annahme, dass dies die in Zukunft dominierende Technologie sein wird, wodurch sich auf das Konzept bereits mehrere Hersteller gestützt haben. Im Anlagebau agieren internationale Unternehmen wie z.B. Siemens Water Technologies, Metito, GE Water and Process Technologies bzw. hauptsächlich auf den Saudi Arabischen Markt bezogen Wetico, Veolia Water Solutions and Technologies Saudi-Industries Ltd, Al Kawther Industries und AES Arabia Ltd. Dem Saudi Arabischen Markt gilt insofern besondere Aufmerksamkeit, da er das Gebiet mit dem höchsten Marktpotential darstellt bzw. bereits heutzutage fast die Hälfte aller errichteten Anlagen stellt.

Deutlich zeichnet sich auch ein Trend der Zweckgebundenheit ab. 53% der Anlagen dienen der Trinkwasseraufbereitung für Siedlungen, liefern also Wasser mit 10 bis 1000 ppm. 38% werden hingegen für industrielle Prozesse benötigt, die die geringste Salzkonzentration mit weniger als 10 ppm verlangen, 5% für militärische Zwecke und 2% für die landwirtschaftliche Bewässerung, beide mit einem Salzgehalt von 10 bis 1000 ppm. Die verbleibenden Prozent wurden in den Angaben nicht weiter definiert.

Während aus den Daten von DesalData nicht ersichtlich ist, bei welchen Anlagen es sich um erneuerbare Energieanlagen handelt bzw. noch genauer um Solaranlagen, muss zu dieser Beurteilung auf Daten geringeren Umfangs zurückgegriffen werden. Diese werden von ProDes zur Verfügung gestellt. Demnach wurden über die Jahre 42 Solaranlagen zu Entsalzungszwecken in der Region erbaut. Davon wurden 26 Anlagen mit Photovoltaiksystemen, teilweise in Kombination mit nicht weiter definierten thermischen Kollektoren, betrieben. Sieben Anlagen werden konkret als thermische Flachkollektoren ausgewiesen. Bei den weiteren neun lässt sich keine

²⁰⁶ Daten wurden nach einem telefonischen Interview mit DesalData zum Zweck der Diplomarbeit zur Verfügung gestellt

genaue Angabe bzgl. der Anlagenart machen, es ist jedoch wahrscheinlich, dass es sich u.a. um konzentrierenden Solarkollektoren handelt. Die meisten Anlagen werden mit RO-Einheiten betrieben – darunter Anlagen in Ägypten, Jordanien, Marokko und Tunesien. Weitere Solarkraftwerke sind zu Entsalzungszwecken in Saudi Arabien, Bahrain, Abu Dhabi, Dubai, Oman, Algerien, Kuwait, Gaza und Katar installiert. Auf die Unvollständigkeit der angegebenen Daten weisen die Jahreszahlen der Inbetriebnahme hin. Viele der Anlagen wurden bereits in den späten 1980er und 1990er Jahren in Betrieb genommen, mehrere zu Beginn von 2000, viele in 2005 und 2008. Mit 2010 schließen die Aufzeichnungen ab. Vergleicht man die Daten mit den besonders auch in den letzten Jahren vermehrt installierten CSP-Anlagen, so zeichnet sich die Informationslücke zu Marktangaben deutlich ab.

Eine Sammlung von anderen Angaben zu Anlagen ergibt vereinzelte weitere Anlagen. So wurden zu Testzwecken in Israel am Standort Ashdod und in Jordanien am Standort Aqaba Parabolrinnenkraftwerke mit einer Wasserproduktion von 24.000 m³/Tag errichtet, sowie eine kleine PV-RO-Anlage in Hatzeva. Jeweils einmal in Verbindung mit einer RO-Einheit und einmal mit einer MED-Einheit betrieben. Des Weiteren werden Angaben zu einer 10 MW PV-RO-Anlage in Saudi Arabien in Al-Khafji gemacht, die einen Output von 30.000 m³/Tag ergeben soll. Ebenso finden sich Informationen zu der ersten ägyptischen solarbetriebenen Entsalzungsanlage in Remela. Einige weitere lassen sich der Auflistung in Abbildung 43 entnehmen. Um den Ist-Zustand näher zu beleuchten und den Informationsmangel über Klein- oder Testanlagen zu beheben, haben die World Bank Group und die Afrikanische Entwicklungsbank ein Programm gestartet. Hier sollten bis 2018 nähere Angaben zu Anlagen möglich sein. Dies ist besonders wichtig, um aus Erfahrungen an anderen Anlagen zu lernen und dieses Potential zu nützen. Auch werden dadurch die Markteinschätzungen realistischer. Bei den Kleinanlagen kann auch Ägypten noch auf eine von Iberdola in Kooperation mit der Regierung errichteten Anlage in Kuraymat, 90 km von Kairo, hinweisen. Diese ging 2010 in Betrieb und wurde als 140 MW Hybrid-Anlage mit Gasbefeuerung geplant. Prinzipiell könnten mit einer solchen Anlage auch Entsalzungskonzepte getestet werden. Ebenso könnten die bereits erwähnten CSP-Anlagen der MENA Region zu Entsalzungszwecken umgerüstet werden.^{207,208,209}

²⁰⁷ vgl. Alawneh et al., 2012, S.3ff.

²⁰⁸ vgl. Roushdy, 2008, S.13

²⁰⁹ King Abdulaziz City for Science and Technology, 2011, S.8

Standort	Inbetriebnahme	Salzgehalt in mg/L	Solareinheit	Back-up	Produktion in m ³ /Tag
Abu Dhabi, UAE	2008	45.000	PV	Brennstoff	20
Abu Dhabi, UAE	2007	45.000	CSP-Fresnel	Brennstoff	24.000
Agadir, Marokko	2007	36.500	CSP-Fresnel	Brennstoff	24.240
Al Khawkah, Jemen	2007	43.000	CSP-Fresnel	Brennstoff	24.024
Gaza, Palestina	2007	38.000	CSP-Fresnel	Brennstoff	23.096
Maagan Michael, Israel	1997	4.000	PV	Wind & Brennstoff	3
Ras Ejder, Libyen	2005	42.000	PV	Wind & Stromnetz	300
Saudi Arabia, Saudi Arabien	1981	5.371	CSP-PTC	Brennstoff	28,2
Yabu, Saudi Arabien	–	–	CSP-Fresnel	Wind	–

Abbildung 43: Bestehende Hybrid-Solarentsalzungsanlagen²¹⁰

Hinsichtlich der verfügbaren Komponenten für Parabolrinnenkollektoren haben sich bereits einige Unternehmen etablieren können. Dazu zählen Abengoa, Solargenix, Flagsol, Sener, SkyFuels und Enea.²¹¹ Im Anlagenbau unter EPC-Verträgen für Entsalzungsanlagen haben laut DesalData Al Murjan Group, Wetico, Veolia, American Engineering Services, General Electric Group, Envirogenics, Desalia, EMCO Group Evoqua Water Technologies und Abengoa große Marktanteile.

4.2.4 Ergebnisse aus Studien und Messungen

Für die Erprobung der Technologie wurden von einer Forschungsgruppe des DLR mehrere Szenarien simuliert, die verschiedene Sonneneinstrahlungsintensitäten, unterschiedliche Positionierungen und Technologiekombinationen berücksichtigen. Eine Variante ist eine CSP-MED-Kombination in Küstennähe, eine weitere die einer CSP-RO-Anlage in Küstennähe mit einem Wärmetauscher (Once-Through Cooling), mit dem der durch die Turbine entspannte Dampf vom Meerwasser gekühlt wird. Drittes Szenario ist eine trockengekühlte Inland-CSP-Anlage, die über das Netz indirekt mit einer RO-Einheit an der Küste verbunden wurde. Zudem wurde eine trockengekühlte mit einer RO-Einheit verbundene CSP-Anlage in Küstennähe simuliert. Während die ersten drei Konzepte Hybridanlagen darstellen, wurde bei der letzten der ausschließlich solare Betrieb angenommen. Die vier Szenarien wurden auf acht verdoppelt, indem für jedes Modell sowohl mittlere Einstrahlungsintensität (2.000 kW/m² im Jahr in Küstennähe und 2.400 kW/m² im Jahr im Inland) als auch hohe Einstrahlungsintensität (2.400 kW/m² im Jahr in Küstennähe und 2.800 kW/m² im Jahr im Inland) angenommen wurde. Die Messergebnisse für die Strom-

²¹⁰ vgl. Messalem et al., 2012, S.67

²¹¹ Messalem et al., 2012, S.123ff.

gestehungskosten sind in Abbildung 44 zusammengefasst. Die Kosten ergeben sich aus den Strompreisen Saudi Arabiens und Marokkos als Vertreter des Mittleren Ostens bzw. Nordafrikas. Als fossilen Brennstoff für den Back-up-Betrieb wurden Schweröl und Erdgas angenommen, mit einem Preisfaktor gegenüber Erdöl von 0,85 bzw. 0,8. Zudem wurde eine Lebensdauer von 25 Jahren angenommen mit 2% Instandhaltungskosten und 0,5% Versicherungskosten pro Jahr und einer Diskontrate von 6% auf Basis der Investitionskosten.²¹²

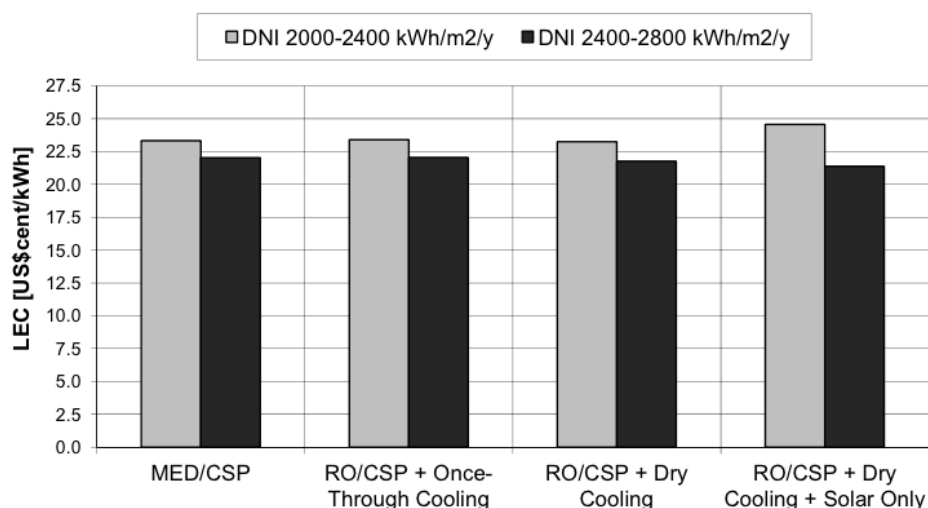


Abbildung 44: Stromgestehungskosten nach Technologievariante²¹³

Aus dem Diagramm kann abgelesen werden, dass die CSP-RO-Kombination mit Trockenkühlung am günstigsten ausfällt. Der ausschließliche Betrieb mit Solarenergie erweist sich zwar als noch kostensparender, jedoch ist hierbei die starke Abhängigkeit von der Einstrahlungsintensität ein sehr sensibler Faktor. Liegen lediglich mittelmäßige Bedingungen vor, so übersteigen die Kosten die der anderen Varianten. Gleichrangig sind das CSP-MED und das CSP-RO Szenario mit Wärmetauscher.

Eine weitere Studie wurde 2012 von einer Forschergruppe mit Mitgliedern von Universitäten aus Israel, Jordanien und Bremen sowie vom DLR in Israel und Jordanien durchgeführt. Untersucht wurde eine CSP-RO-Kombination mit der RO-Einheit in Küstennähe und der CSP-Anlage im Landesinneren. Als Vergleichsanlage diente ein CSP-MED-Konzept, das beide Anlageneinheiten im Inland vorsah. Das Ergebnis war ein wesentlicher Kostenunterschied zum Vorteil der CSP-RO-Kombination. Jedoch wurde bei den Resultaten auch auf die Abhängigkeit der unterschiedlichen DNI-Werte, Lohnkosten und Einspeisungstarife hingewiesen.²¹⁴

²¹² vgl. Moser et al., 2013, S.128ff.

²¹³ vgl. Moser et al., 2013, S.131

²¹⁴ vgl. Alawneh et al., 2012, S.166f.

4.2.5 Hemmnisse für die Technologie

Neben den für CSP-Anlagen allgemein geltenden Hindernissen, wie den hohen Investitionskosten, den hohen Zinssätzen aufgrund der hohen Risiken in MENA und der ungewissen Rendite wegen des schwankenden Ölpreises entstehen in Zusammenhang mit Entsalzungsanlagen weitere spezifische Hindernisse.

Ein Problem ergibt sich bei den Schnittstellen der Solaranlage mit der Entsalzungseinheit. Die Komponenten der Anschlusspunkte sind teilweise nicht oder nur schwer mit den geforderten Spezifikationen verfügbar. Grund dafür ist die separate Entwicklung der Technologien und noch fehlende Standards für einheitliche Komponenten. Dadurch sinkt die Zuverlässigkeit der Technologie während die Kosten steigen. Hinzu kommt die zunehmend große Auslegung der Anlagen, wodurch Komponenten für Anlagen kleineren Umfangs ein sehr geringes Marktsegment besetzen.²¹⁵

Die inkonsistenten Informationen über die Größe und Verteilung des Marktes und mögliche in Betracht zu ziehende Risiken stellen eine weitere Hürde dar. Investoren können somit ihre Entscheidungen nur auf einer unzureichend fundierten Grundlage treffen, wodurch die Neigung zu Investitionsverweigerung besteht. Des Weiteren ist die Wasser- und Elektrizitätssubventionspolitik, die erneuerbare Energieanlagen trotz hoher Effizienz als unprofitabel einstufen könnten, sehr undurchsichtig. Dies ist unter anderem auf die häufige Trennung der für Wasser und Elektrizität zuständigen Ministerien zurückzuführen, die inkohärente Entscheidungen treffen. In Kombination mit der Höhe der Kapitalkosten sind diese Aspekte durchaus als gravierend negativ zu bewerten.²¹⁶

Des Weiteren stellen Entsalzungsanlagen auch in Kombination mit erneuerbaren Energien wegen der mit Chemikalien versetzten Sole als Nebenprodukt eine Umweltbelastung dar. Viele Bewohner wehren sich daher gegen den Bau von den etwaigen Anlagen, wodurch es neben zeitaufwendigen Schlichtungsprozessen auch zu Mehrkosten kommen kann.²¹⁷

Als Politik basiertes Problem kann die teilweise Distanz zu Privatisierung gesehen werden. So sind im Entsalzungsbereich oftmals keine Möglichkeiten vorgesehen Projekte in einer Kooperation vom öffentlichen mit dem privaten Sektor durchzuführen. Eine solche Zusammenarbeit würde jedoch private Investoren anziehen, wodurch mehr Projekte vorangetrieben werden könnten.²¹⁸

²¹⁵ vgl. The World Bank , 2012, S.132

²¹⁶ vgl. ebenda

²¹⁷ vgl. ebenda

²¹⁸ vgl. Moawad, 2011, S. 51f.

Was zudem noch sehr ausbaufähig erscheint, ist die Kommunikation zwischen Landbesitzern, den Anlagenbauern und -betreibern bzw. -instandhaltern. Eine geordnete, übersichtliche Kommunikationsstruktur könnte hier Ineffizienz verhindern, Prozesse beschleunigen und letztendlich auch für den verlässlichen Betrieb der errichteten Anlage sorgen.²¹⁹

Bei der allgemeinen Problembetrachtung sollten auch mögliche Fehler berücksichtigt werden, die durch die Kombination der Solaranlage mit der Entsalzungseinheit entstehen können und zu einem ineffizienten Betrieb der Gesamtanlage führen. Demnach sollte abgewogen werden, welche Anlagenart gewählt wird. Bei RO-Einheiten sind Defekte bekannt, die zu einem zu hohen Salzgehalt im entsalzten Wasser, zu hohen Druckunterschieden zwischen Einspeisewasser und Permeat oder zu verringerten Outputraten führen. Diese Probleme sind jedoch bereits analysiert und es bestehen Lösungsansätze.²²⁰

4.2.6 Marktprognose

Das allgemeine Potential der Region kann Anhang 23 entnommen werden. Hierbei wird zwischen dem Elektrizitätsbedarf und -angebot sowie dem Wasserbedarf und -angebot unterschieden. Die meisten Länder der MENA Region können sich sowohl durch RO als auch MED Entsalzungsanlagen ausreichend mit Süßwasser versorgen. Lediglich der Libanon, Gaza, Malta und das Westjordanland können ihren Bedarf nicht decken.²²¹

Bezüglich des Marktanteils der CSP-Technologie im Entsalzungsbereich sind deutliche Unterschiede zwischen dem Mittleren Osten und Nordafrika festgestellt worden. Demnach soll CSP bis 2050 im Mittleren Osten einen Großteil des Entsalzungsmarktes für sich beanspruchen, während herkömmliche Technologien zurückgedrängt würden. In Nordafrika geht man ebenfalls von einer Verdrängung konventioneller Methoden aus, jedoch würde hier CSP einen gleichwertigen Marktanteil wie die Wasserwiederaufbereitung für sich beanspruchen. Die Tendenzen können Abbildung 45 und Abbildung 46 schematisch entnommen werden.²²²

²¹⁹ vgl. ebenda

²²⁰ vgl. <http://de.slideshare.net/RajeshMon/seawater-desalination-operation-maintenance-and-trouble-shooting>

²²¹ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.8-137

²²² vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.8-132ff.

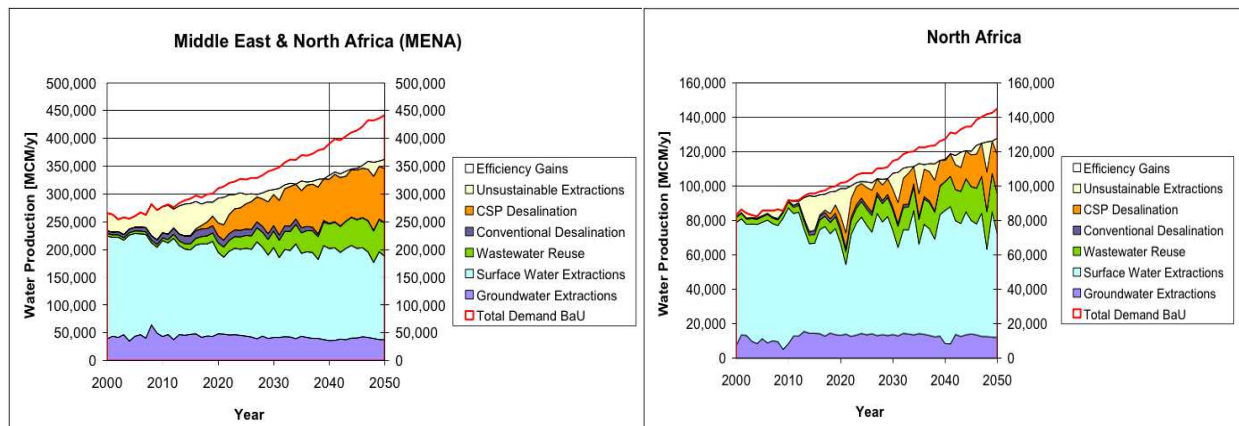


Abbildung 45: Prognosen für die Produktion von entsalztem Wasser im Mittleren Osten bis 2050²²³

Abbildung 46: Prognosen für die Produktion von entsalztem Wasser in Nordafrika bis 2050²²⁴

Insgesamt wird eine jährliche Wachstumsrate von bis zu 16% um 2017 in MENA für den Entsalzungsmarkt prognostiziert. Gefolgt von einem Einbruch der Zahlen und schließlich einer Nivellierung auf ca. 3%. Als Investitions-Spitzenreiter werden Saudi Arabien, die Vereinigten Arabischen Emirate und Kuwait erwartet. Weitere Detailinformationen können Anhang 24 entnommen werden.²²⁵

4.3 Solare Prozesswärme

Wärme wird für diverse Anwendungen benötigt – angefangen vom Erhitzen von Wasser für den häuslichen Gebrauch bis zu komplexen industriellen Fertigungsprozessen. Betrachtet man den Industriesektor in MENA, so fallen allein hierfür 30% des gesamten Energiebedarfs der Region an. Die Fertigung ist ein Energieabnehmer mit rund 80% des Energiebedarfs für Prozesse. Je nach Fertigungsprozess stellt davon einen Großteil die benötigte Prozesswärme dar. Abbildung 47 und Abbildung 48 zeigen die unterschiedlichen Temperaturbereiche, die in den verschiedenen Industrien für die Prozesse benötigt werden. Sie zeigen eine sich ergänzende Auswahl an Anwendungsgebieten, jedoch mit einem Unterschied in der Kategorisierung der analysierten Daten.^{226,227}

²²³ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.8-132

²²⁴ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.8-138

²²⁵ vgl. <http://de.slideshare.net/Visiongain/the-desalination-market-forecast-2014-2024>

²²⁶ vgl. IRENA, 2014, S.6

²²⁷ vgl. OME, 2010, S.9

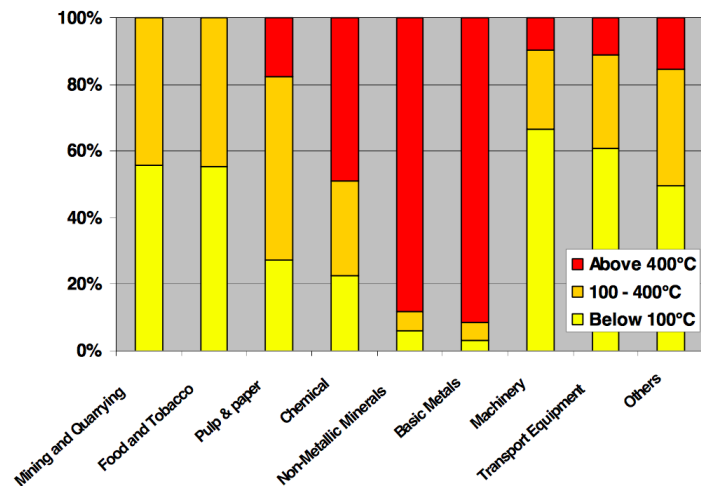


Abbildung 47: Prozesstemperaturbereich nach Industriezweig gemäß ECOHEATCOOL²²⁸

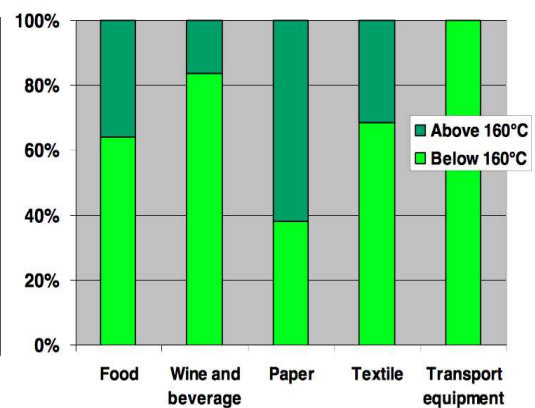


Abbildung 48: Prozesstemperaturbereich nach Industriezweig gemäß POSHIP²²⁹

Branchenübergreifend kommen viele Prozessschritte mit geringen bis mittleren Temperaturen aus. Ausreißer stellen nur die Bereiche nicht-metallische Mineralien und Metallerzeugung dar, die Temperaturen jenseits der 400°C-Grenze aufweisen. Interessant für Prozesswärmeanwendungen sind jedoch auch Temperaturen im mittleren bis höheren Segment bis 400 °C, die grob ein Drittel der Anwendungen ausmachen. Prozesse, die bei oder über 160 °C liegen sind z.B. in der Textilindustrie bei Verklebe- oder Färbvorgängen zu finden mit Temperaturen von 160 °C bis 180 °C bzw. 100 °C bis 160 °C. Im Chemiebereich fallen die Erzeugung von synthetischem Gummi mit 150°C bis 200°C, von Seife mit 200°C bis 260°C, von Plastik mit 120°C bis 220 °C und Destillieren mit 100 °C bis 300 °C unter diese Kategorie. Das Vulkanisieren von Gummi benötigt 170 °C sowie der Holzschliff 120 °C bis 170 °C. Für diese Prozesse, die höhere Temperaturen bedürfen, kann ein Parabolrinnenkollektor angewandt werden, um nachhaltige Energie und Wärme zur Verfügung zu stellen.²³⁰

4.3.1 Technologien für Prozesswärmeanlagen

4.3.1.1 Solare Konzepte

Aus technischen wie auch wirtschaftlichen Gründen können nicht für alle Temperaturbereiche die gleichen Solaranlagen eingesetzt werden. Zu unterscheiden ist zwischen Flach-, Vakuumröhren- und konzentrierenden Kollektoren. Flachkollektoren sind die am häufigsten verbauten mit einem Temperaturbereich von 30 °C bis 50 °C. Sie sind leicht und relativ platzsparend auf z.B. Gebäudedächern zu verbauen. Hinzu kommt die Wartungsarmut durch ihren einfachen Aufbau mit den

²²⁸ vgl. Vannoni et al., 2008, S.5

²²⁹ vgl. ebenda

²³⁰ vgl. Carbon Trust, 2013, S.13

Hauptkomponenten Absorberplatte und darunter liegenden Rohren mit Wärmeträgermedium. Fortschrittlichere Flachkollektoren, deren Wärmeverluste reduziert werden konnten, erreichen bereits Temperaturen von 80 °C bis 150 °C. Die beiden genannten Kollektorarten sind sowohl verglast als auch unverglast erhältlich. Die Verglasung bezieht sich auf eine äußere Glasschicht, die die Hauptkomponenten von äußeren Einflüssen, besonders zu hohen Materialtemperaturen, schützt. Vakuumröhrenkollektoren, mit einem Temperaturbereich von 50 °C bis 130 °C, fanden bisher ebenfalls weite Verbreitung. Das Prinzip liegt hier auf fluidgefüllten Rohren, die von vakuumierten Glasrohren umhüllt sind, um Verluste durch Wärmekonvektion und -leitung zu vermindern. Unter den konzentrierenden Kollektoren eignen sich vor allem CPCs, PTC und Fresnel Kollektoren. Während CPCs in der Einzelverwendung nur Temperaturen von 100 °C bzw. 200 °C bei vakuumierten Konzepten erreichen können, sind die anderen für Temperaturen bis zu 400 °C geeignet.²³¹

Dementsprechend unterschiedlich ist auch deren Einsatzgebiet. Wärme bis zu einer Temperatur von 50 °C eignet sich für die Beheizung von Schwimmbecken oder zur Trocknung von Erntegut. Hierfür können quasi alle Kollektorarten eingesetzt werden. Abgesehen von unverglasten Kollektoren, finden diese Anlagen auch bei der Wasser- oder Innenraumbeheizung mit bis zu 120 °C Anwendung. Für die Klimatisierung bei Betriebstemperaturen von bis zu ca. 180 °C hingegen eignen sich nur mehr die konzentrierenden Kollektoren, Vakuumrohrkollektoren sowie sehr fortschrittliche Flachkollektoren. Betrachtet man die Einsatzbedingungen für Prozesswärme zu industriellen Zwecken, die Temperaturen von ca. 70 °C bis 400 °C fordern, so kann dies bis 160 °C von denselben Kollektoren, bei Temperaturen darüber lediglich von konzentrierenden Kollektoranlagen erbracht werden.²³²

Ein neben der technischen Anwendbarkeit wichtiger Aspekt ist die Marktreife der diversen Anlagentypen. Für häusliche Anwendungen sowie die Schwimmbadbeheizung sind die Anlagenkonzepte bereits sehr ausgereift und erfahren große internationale Verbreitung. Dies wird in Tabelle 16 deutlich, in der die Größe installierter Kollektorflächen einzelner MENA-Länder dargestellt werden, die mit deutlicher Mehrheit aus häuslichen Anwendungen bestehen.^{233,234}

²³¹ vgl. OME, 2010, S.9ff.

²³² vgl. IEA, 2012, S.19

²³³ vgl. Faninger, 2010, S.2

²³⁴ vgl. UNEP, 2014, S.10ff.

Tabelle 16: Installierte Kollektorfläche am Beispiel von zehn MENA-Ländern – allgemein überwiegen hierbei häusliche solare Anwendungen²³⁵

Land	Installierter Kollektorfläche
Algerien	3.000 m ²
Ägypten	1.000.000 m ² (Stand 2012)
Israel	4.265.665 m ² (Stand 2011)
Jordanien	1.270.00 m ² (Stand 2012)
Libanon	249.000 m ² (Stand 2011)
Libyen	11.000 m ² (Stand 2012)
Marokko	415.000 m ² (Stand 2012)
Palistina	1.533.000 m ² (Stand 2007)
Syrien	300.000 m ² (Stand 2008)
Türkei	19.000.000 m ² (Stand 2012)

Zu den eher im Entwicklungsstadium befindlichen und damit in den Ländern noch nicht bzw. kaum vertretenen Anwendungen zählen jene für industrielle Prozesswärme, die von CSP-Anlagen bedient werden könnten. Konzentrierende Anlagen machen daher nur 8% des Solarwärmemarktes aus. Diese geringe Anzahl sowie die allgemein nicht vorhandene Marktreife sind Gründe, warum CSPs in themenspezifischen Berichten oder Marktbewertungen gar nicht aufscheinen. Da sich das Solabolic-Parabolrinnenkonzept jedoch in die Kategorie der konzentrierenden Anlagen reiht und somit wirtschaftlich am besten für industrielle Prozesswärme eignet, liegt der Fokus der weiteren Betrachtungen auf diesem Marktsegment.^{236,237,238}

4.3.1.2 Erneuerbare Energien im Wettbewerb

Im Allgemeinen kann Prozesswärme auch über andere erneuerbare Energieanlagen erzeugt werden. Dazu zählen Biomasse-, Geothermie- und Wärmepumpenanlagen. Laut Kalkulationen der International Renewable Energy Agency (IRENA), besteht für Biomasseanwendungen derzeit und auch bis 2030 das größte Potential. Gründe hierfür sind vor allem die weitreichenden Kenntnisse zum Einsatz und zur Anlage so wie das breite Temperaturspektrum, das bis in die oberen Temperaturbereiche reicht. Auch Wärmepumpen wird ein bedeutender Marktanteil zugesprochen, da sie sich gut für den Einsatz im niedrigen bzw. mittleren Temperaturbereich eignen. Die Gewichtung ihrer Vor- bzw. Nachteile gegenüber Solarthermie hängen von den jeweiligen Einsatzbedingungen ab. Der Einsatz von Geothermieanlagen richtet sich nach den bereits im Abschnitt „Solarkonzentrierende Entsalzung“ gegebenen

²³⁵ vgl. UNEP, 2014, S.19ff.

²³⁶ vgl. Faninger, 2010, S.2

²³⁷ vgl. UNEP, 2014, S.19ff.

²³⁸ vgl. UNIDO, 2010, S.33

Kriterien. Abbildung 49 zeigt die von IRENA veröffentlichte Prognose für 2030 zur Verteilung des Einsatzes erneuerbarer Energien in verschiedenen Ländern.²³⁹

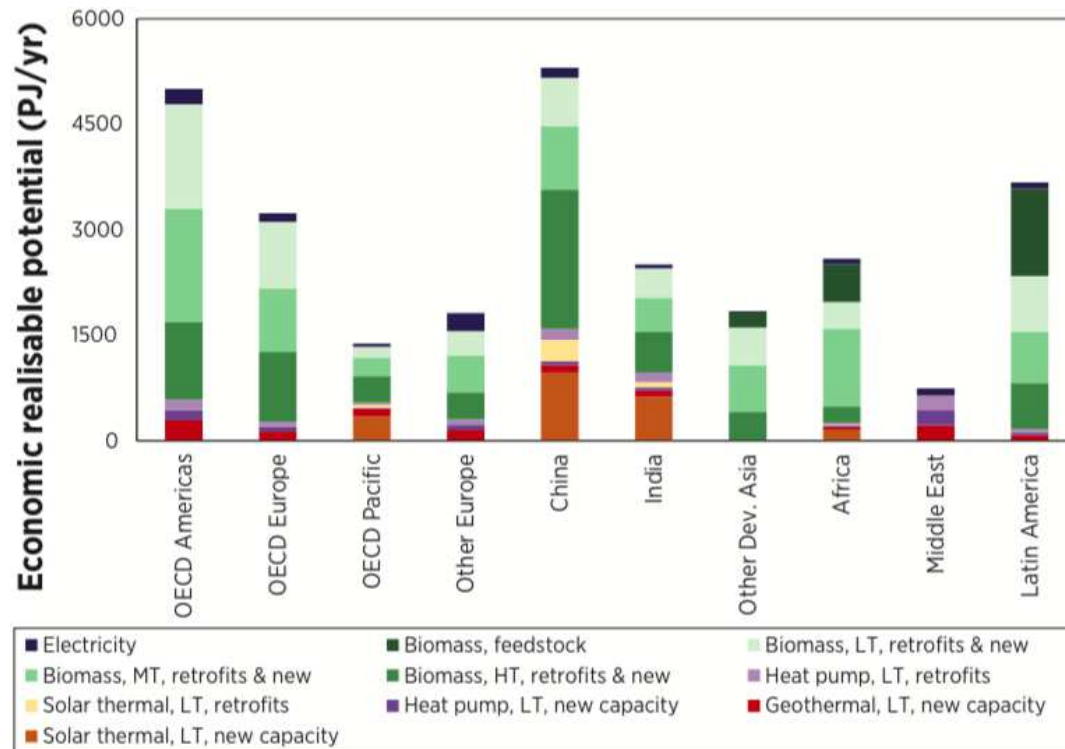


Abbildung 49: Wirtschaftlich realisierbare Potentiale erneuerbarer Energien im Ländervergleich²⁴⁰

Die Einteilung sieht dabei die Kategorisierung in Mitgliedsländer der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und hierbei nach geographischer Zusammengehörigkeit vor. Dementsprechend werden die meisten Länder auf Biomasse und nur Indien, China, Afrika und OECD Pazifik zum Teil auf Solarenergie für Prozesswärme gesetzt. Zu beachten ist, dass nur Niedrig- bis Mitteltemperaturanwendungen für Solaranlagen berücksichtigt wurden, wodurch laut Statistik ein Drittel der Solaranwendungen unberücksichtigt bleibt. Grund ist die gemäß IRENA noch nicht ausgereifte Technologie sowie daher noch ausstehende Forschungs- und Vertiefungsarbeit. Hinterfragenswert ist somit die Prognose für den Mittleren Osten. Aufgrund der geringen Biomassevorkommnisse findet diese hier keine Anwendung. Stattdessen wird hier auf Nieder- und Mitteltemperaturwärmepumpen sowie Geothermie und Elektrizität gesetzt. Trotz der hohen Solarpotentiale der Region scheinen Solaranwendungen aufgrund der IRENA-Technologiebewertungen gar nicht in der Prognose auf. Eine weitere Erörterung der Zukunftsfähigkeit der Technologie erfolgt in den Abschnitten Hemmnisse für die Technologie und Marktprognose.²⁴¹

²³⁹ vgl. IRENA, 2014, S.3ff.

²⁴⁰ vgl. IRENA, 2014, S.6

²⁴¹ vgl. IRENA, 2014, S.3ff.

Von Carbon Trust werden, im Gegensatz zur IRENA, CSP-Anlagen als relativ vorteilhaft eingestuft. Die Bewertung erfolgte nach acht Kriterien. Das erste Kriterium war die prinzipielle Eignung für Prozesswärme. Nachdem CSP, Biomasse, Kohle und Heizöl jeweils Wärme erzeugen, eignen sich diese Energiequellen sehr gut. Anders PV, die Energie lediglich in Form von Elektrizität abgibt bzw. ebenso vom Netz bezogener Strom. Hinsichtlich der Kosten werden Biomasse und Kohle als am preiswertesten bewertet, während CSP, PV und Netzversorgung als eher mittelpreisige und Heizöl als teuerste Variante angesehen werden. Betrachtet man jedoch die Preisvolatilität, so schneiden CSP und PV am besten bzw. stabilsten ab, gefolgt von Biomasse und Kohle. Heizöl und Strom erfahren die höchsten Schwankungen. Eine ähnliche Staffelung ist bei der Bewertung nach CO₂-Emissionen zu erkennen, wobei sich Kohle in die höchste Kategorie mit eingliedert. Der Grund für die schlechte Bewertung des Stroms liegt darin, dass dieser abhängig von der Zusammensetzung des Strommix ist. Ein ggf. wichtiger Faktor ergibt sich durch die 24-Stunden-Verfügbarkeit. Hier schneidet PV am schlechtesten ab und auch CSP und Elektrizität über das Stromnetz, in Anbetracht von Instabilitäten in z.B. Entwicklungsländern, ist nicht unbedingt jederzeit verfügbar. Was die Skalierbarkeit betrifft, so erzielen lediglich CSP und PV nur mittelmäßige Bewertungen. Dies hängt mit der Tatsache zusammen, dass CSP- und PV-Anlagen nicht ohne Weiteres je nach Bedarf hinauf- oder hinunterskaliert werden können. Betrachtet man die Anlagen auf Komponentenebene, so liegen bezüglich Verfügbarkeit lokaler Hersteller fast alle Anlagen im mittleren Bewertungsbereich. Nur PV-Konzepte werden schlechter bewertet, da man von Produktion in vereinzelt Ländern ausgeht. Dementsprechend wird auch die Wartung des Netzes als schwieriger eingeschätzt. Alle anderen Anlagen scheinen einfach zu warten zu sein – lediglich beim Elektrizitätsbezug aus dem Stromnetz könnten ebenfalls Schwierigkeiten auftreten, da die Wartung vom Netzbetreiber durchgeführt werden muss. Insgesamt schneiden CSP-Konzepte somit bei vier Punkten sehr gut und bei den anderen vier mittelmäßig ab. Bei Biomasse liegt dieses Verhältnis bei fünf zu drei. Somit kann im Gesamtkontext nicht zwingendermaßen ein klarer Vorteil für eine Technologie ausgesprochen werden.²⁴²

4.3.2 Marktcharakteristika

Bisher wurden die meisten Anlagen für solare Prozesswärme in der Europäischen Union verbaut, wobei Österreich mit einer Vielzahl kleiner Demonstrationsanlagen Vorreiter ist. Ein Technologietreiber ist zudem das Projekt SoPro, dessen Projektkoordinator der O.Ö. Energiesparverband ist. Zusammen mit den Projektpartnern ECCB, Energap, Escan, Fraunhofer ISE, Gertec und Saena soll durch intensive Bestrebungen im Demonstrationsanlagenbau das Wissen aus verschiedenen

²⁴² vgl. Carbon Trust, 2013, S.14

Branchen aggregiert und zur Weiterentwicklung der Technologie eingesetzt werden. Analysen stellten fest, dass sich solare Prozesswärme am besten für den Brauerei- und Nahrungsmittelbereich eignet, gefolgt von der Metallindustrie, Bauindustrie, Chemiebranche und dem Transport. Besonders interessante Einzelverfahren sind dabei Trocknen, Reinigen und Waschen, Vorheizen sowie Rohwasserproduktion. Die Studie befasste sich jedoch ausschließlich mit Technologie, deren Einsatz in europäischen Breitengraden wirtschaftlich ist, d.h. hochtemperaturige CSP wurde nicht inkludiert. Auch in weiteren Themenaufarbeitungen befasst sich der klar überwiegende Teil lediglich mit Kollektorarten für niedrige bis mittlere Prozesseemperaturen. Eine Tatsache, die auch in den derzeitigen Marktüberblicken widergespiegelt wird. 2012 werden 65% des Marktanteils den Vakuumrohrkollektoren zugewiesen, 26% den verglasten Flachkollektoren und 8% den unverglasten Kollektoren. CSP-Anlagen bleiben somit wiederum unberücksichtigt.^{243,244,245}

Beobachtungen des Technologieeinsatzes lassen zudem die Aussage zu, dass sich solare Prozesswärme lediglich als Zusatzapplikation eignet. Grund dafür sind die hohen Kosten und die Komplexität der entsprechenden Umstellung industrieller Prozesse. Hinzu kommen die relativ hohen Kosten für solare Anwendungen, die auch hohe Prozesstemperaturen bereitstellen können. Der erst genannte Grund könnte durch den Betrieb mit größtenteils veralteten, ineffizienten Anlagen entkräftet werden. Würden diese durch neue, effiziente solar betriebene Anlagen ersetzt werden, so könnte es auch für Klein- und Mittelbetriebe durchaus von Vorteil sein, die neue Technologie anzunehmen. Ebenso bestehen Vermutungen, dass in Ländern mit eher unterentwickeltem Industriesektor aber hoher DNI, wie z.B. Afrika, der Einsatz von solarer Prozesswärme eine Möglichkeit bietet, den Sektor durch günstige solare Energieversorgung anzukurbeln.^{246,247,248}

Wie stark solare Prozesswärmeanlagen für industrielle Anwendungen bereits weltweit bzw. in der MENA Region vertreten sind, zeigt Abbildung 50. Global am häufigsten findet die Technologie in der Nahrungsmittelindustrie Anwendung. Von den 47 installierten Anlagen befindet sich eine in Jordanien. Am zweitstärksten ist die Getränkeindustrie mit weltweit 18 Anlagen und davon zwei Anlagen in Saudi Arabien vertreten. In der MENA Region befindet sich zudem noch eine Anlage in der Chemieindustrie und eine im pharmazeutischen Bereich in Ägypten, sowie eine zu wissenschaftlichen Zwecken in den Vereinigten Arabischen Emiraten und und eine im Dienstleistungssektor in Israel. Die Daten entspringen der Datenbank zu solaren

²⁴³ vgl. Mauthner et al., 2014, S.11

²⁴⁴ vgl. http://www.solar-process-heat.eu/fileadmin/redakteure/So-Pro/Work_Packages/WP6/6.2.1_info_roundtable_contracting/PPT_Event_descr_RT_solar_contracting_ESV_web.pdf

²⁴⁵ vgl. So-Pro, 2011b, S.6ff.

²⁴⁶ vgl. IEA, 2012, S.14

²⁴⁷ vgl. IRENA, 2014, S.26

²⁴⁸ vgl. RHC-Platform, 2012, S.29

industriellen Prozesswärmeanwendungen, die im Rahmen der IEA Task 49/IV erstellt und gepflegt wurde. Die IEA Task 49 ist eine Arbeitsgruppe der International Energy Agency, die zur Weiterentwicklung und Unterstützung von solaren industriellen Prozesswärmeanlagen ins Leben gerufen wurde.²⁴⁹

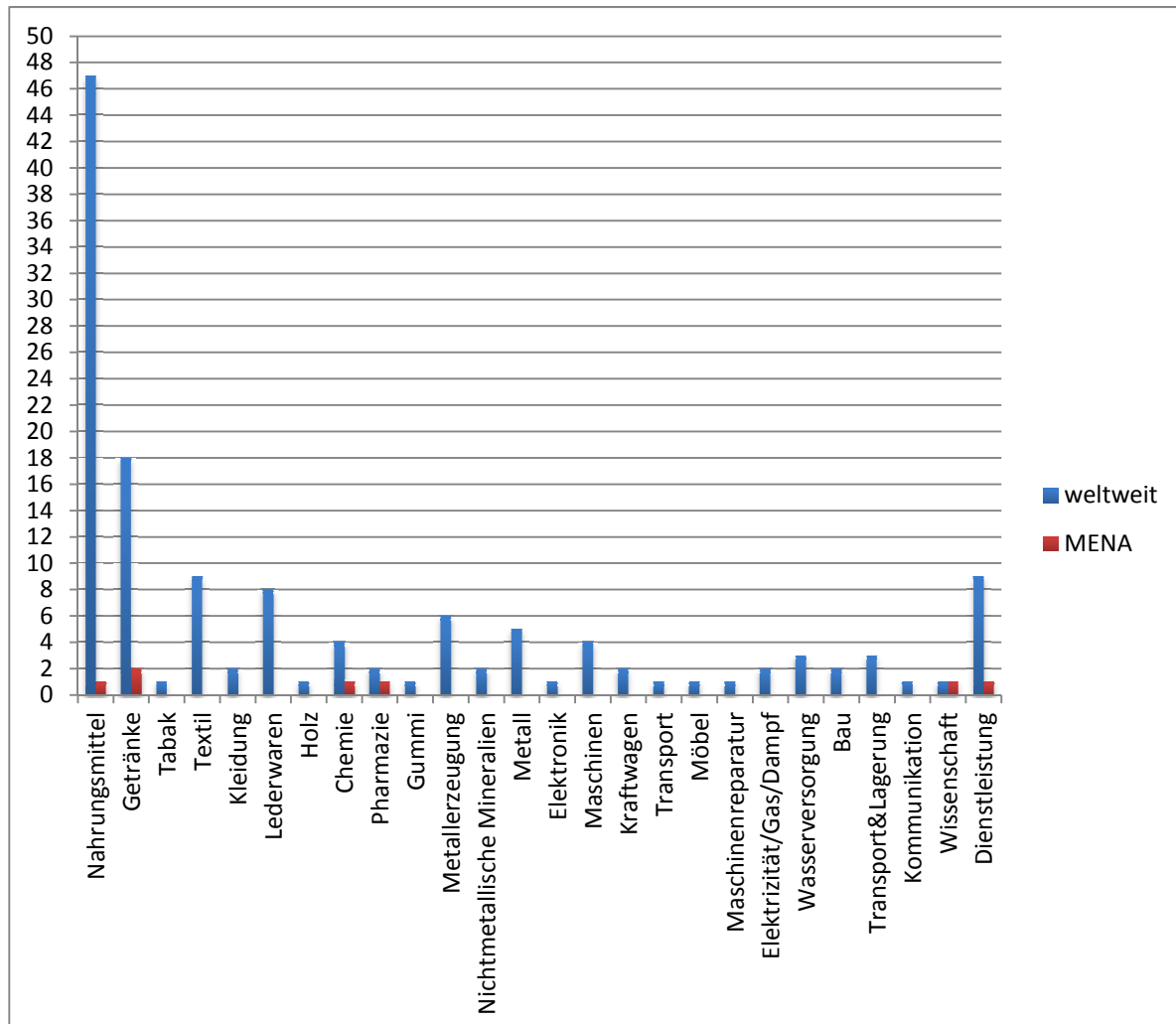


Abbildung 50: Anzahl der für solare industrielle Prozesswärme installierten Anlagen nach Industriezweig und Region²⁵⁰

Um einen genaueren Überblick auch über die installierten Kollektorarten zu erlangen, wird im Folgenden eine Übersicht über bestehende Anlagen in der Region gegeben. Zu beachten ist hierbei, dass die Datenbank der IEA nicht alle Anlagen anführt und dementsprechend mehr Anlagen gelistet werden können als in obiger Darstellung angegeben. Aufgrund von mangelhaft aufbereiteten Angaben zu installierten Anlagen kann jedoch keine Vollständigkeit garantiert werden.

In den Vereinigten Arabischen Emiraten besteht eine Anlage, die neben Flachkollektoren auch PTCs und Fresnel-Kollektoren umfasst. Sie wurde von TVP

²⁴⁹ vgl. www.ship-plants.info

²⁵⁰ eigene Darstellung, vgl. www.ship-plants.info

Solar in Masdar City, Abu Dhabi, zu wissenschaftlichen Zwecken erbaut und ging 2012 in Betrieb.²⁵¹

Israel kommt auf zwei Anlagen: eine in Sha'ar Ha'negev und eine in Urim. Erstere besteht aus einem Parabolspiegelkonzept, das zu Demonstrationszwecken von der Firma Luz Corp. bei einem Kartoffelchips-Hersteller aufgestellt wurde. Zweitere ist ein Flachkollektor, der von TIGI errichtet wurde und 2014 in Betrieb genommen wurde.^{252,253}

Ägypten sicherte sich durch bereits frühzeitige Demonstrationsanlagen eine Vorreiterposition in der Region. Grund war das Bekenntnis der ägyptischen Regierung zu solarer Prozesswärme, wodurch in zwei staatlichen Betrieben 350 m² Flachkollektorfläche installiert und die Kollektoren lokal produziert wurden. Hierdurch konnten 26 m³/Tag Wasser mit Temperaturen zwischen 50 und 60 Grad erzeugt werden. 2005 wurden jedoch beide Anlagen deinstalliert, als die Firmen – United Chicken Company im Lebensmittelbereich und Misr-Helwan in der Textilindustrie – an private Investoren verkauft wurden. Von Regierungsseite, genauer von der New and Renewable Energy Authority (NREA), wurde hingegen 2003 nochmals eine Anlage bei El Nasr Pharmaceutical, einem pharmazeutischen Betrieb, integriert. Die Finanzierung kam dabei vom African Development Fund. Die Anwendung stützt sich auf ein Konzept aus 1.900 m² Parabolspiegeln und liefert Temperaturen bis zu 175°C. Nach einigen technischen Problemen ist die Anlage aktuell noch in Betrieb. Zudem wurde ein Flachkollektor bei Pachin Paints Co. in Kairo errichtet, einem Unternehmen, das Farbe über chemische Prozesse herstellt. Die Anlage wurde von Tecsol gebaut und 2002 in Betrieb genommen.^{254,255}

Im Libanon wurde die vom Clean Development Mechanism (CMD) angebotene Finanzierung genutzt, um bei der Zeenni Trading Agency in Bsarma eine CSP-Anlage mit 10,3 MW_{th} zu erbauen.²⁵⁶

Marokko erwog ebenfalls eine Finanzierung über CMD. Geplant waren acht Fischmehlfabriken in Laâyoune, die mit Fresnelkollektoren betrieben werden sollten, jedoch kam es nach den zur Verfügung stehenden Angaben noch zu keinem Baubeginn.²⁵⁷

Tunesien, das sich im Bereich Niedertemperatur-Prozesswärme bereits sehr etabliert hat, zeigt nun auch Bestrebungen, industrielle Prozesswärme voranzutreiben. Hierfür wurden diverse Energie-Audits bei Unternehmen im Agrar-, Textil-, Chemie- und

²⁵¹ vgl. www.ship-plants.info

²⁵² vgl. UNEP, 2014, S.29

²⁵³ vgl. www.ship-plants.info

²⁵⁴ vgl. UNEP, 2014, S.25

²⁵⁵ vgl. www.ship-plants.info

²⁵⁶ vgl. UNEP, 2014, S.35

²⁵⁷ vgl. UNEP, 2014, S.45

Papiersektor durchgeführt, woraus 40 frühphasige und sechs detaillierte Wirtschaftlichkeitsstudien entstanden. Von den sechs detaillierten beziehen sich drei auf die Lebensmittel- und drei auf die Textilindustrie. Vermerkt sei hier, dass die Studien in Bezug auf PTCs erhebliche Amortisationszeiten von bis zu 25 Jahren ergaben. Eine installierte Fresnel-Anlage steht in Grombalia zur Unterstützung der Weinproduktion. Sie wurde von den Firmen Industrial Solar GmbH sowie PSE AG errichtet und ging 2008 in Betrieb.^{258,259}

Jordanien zeichnet sich mit einem Vakuumrohrkollektor in Sahab aus, der bei Seniora Food Industries zur Lebensmittelherstellung eingesetzt wird. Er wurde von MEI erbaut und 2010 in Betrieb genommen.²⁶⁰

In der häufig auch zur MENA Region gezählten Türkei besteht eine Anlage in Tokat bei der Canicas Textilfabrik, die 2008 von Solimpeks Solar Energy aufgestellt wurde. Zudem wurde für das Iberotel Sarigeme Park Hotel eine Parabolrinnenanlage installiert, die Dampf für das Wäschewaschen zur Verfügung stellen soll.²⁶¹

Nähere Informationen zur Größe und Verteilung unterschiedlicher Industriezweige in der MENA Region - und damit zum Potential solarer Prozesswärme – kann weiterführender Literatur entnommen werden.²⁶²

4.3.3 Ergebnisse aus Studien und Messungen

Anhand der bestehenden Anlagen kann ein einigermaßen umfangreicher Pool an Erfahrungen vermutet werden. Das Hauptproblem stellt hier jedoch die schlechte Datenerfassung dar. Lediglich vereinzelte Organisationen beschäftigen sich auf internationaler Ebene mit der Sammlung und Aufbereitung von Daten, um den Wissensstand allgemein zugänglich zu machen. Nur dadurch können Redundanzen in der Entwicklung vermieden und schnelle Fortschritte erzielt werden.

Um zu dieser Informationssammlung beizutragen, haben Mitarbeiter des Projekts SoPro den Verlauf von in Kooperation mit Unternehmen installierten Pilotanlagenprojekten in Europa aufgezeichnet. Daraus ist ersichtlich, dass die durchschnittliche Projektdauer von der ersten Kontaktaufnahme mit dem Unternehmen bis zur Inbetriebnahme ungefähr eineinhalb Jahre beanspruchte. Zudem waren sowohl bei großen als auch kleinen Projekten Probleme aufgetreten. Bei größeren stieß man besonders auf die Hürde der Amortisationszeit. Wurde die

²⁵⁸ vgl. UNEP, 2014, S.56

²⁵⁹ vgl. www.ship-plants.info

²⁶⁰ vgl. www.ship-plants.info

²⁶¹ vgl. UNEP, 2014, S.61

²⁶² siehe <http://www.theglobaleconomy.com/compare-countries/>;
<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2012.html>;
<http://www.tradingeconomics.com/egypt/industrial-production>; Arab Industrialisation and Economic Integration - Routledge Library Editions Economy of Middle East von Roberto Aliboni

Anlage nach den anfänglich vereinbarten Kriterien ausgelegt, so übertraf man durch die damit verbundenen Kosten deutlich den für das Unternehmen akzeptablen Amortisationszeitrahmen. Dadurch erhielt nach langer Planung das Projekt oftmals bis zuletzt keine Freigabe durch die Geschäftsleitung. Komplikationen bzgl. der Amortisationszeit traten jedoch auch bei Anlagen anderer Größen auf, wobei man auf durchschnittlich sieben Jahre kam. Bei kleinen Anlagen ging man teils zu sorglos an das Projekt heran, wodurch die Tendenz zum Übersehen von wichtigen Aspekten der Finanzierung entstand. Insgesamt kann festgestellt werden, dass eine gute Kommunikation zwischen den Energiebehörden, dem Anlagenhersteller, externen Experten und dem Unternehmen essentiell für die Projektzusage bzw. Anlageninstallation ist. Insofern war die Initiierung eines Pilotprojekts die schwierigste Aufgabe. Hier war mehr Überzeugungs- und Kommunikationsbedarf betreffend dem prinzipiellen Konzept notwendig als bezüglich der technischen Spezifizierungen. Neben Aspekten der Überzeugungsarbeit in Bezug auf die Technologie, traf man auf Verzögerungen aufgrund tendenzieller Abneigung, sobald das Unternehmen von wirtschaftlichen Nachfrageschwankungen, wie z.B. durch die Wirtschaftskrise verursacht, erfuhr. Hinzu kam eine starke Abhängigkeit der Entscheidung für eine Pilotanlage von der nationalen bzw. regionalen Subventionspolitik. Nachdem mehrere Unternehmen zudem schon Energie-Audits durchgeführt hatten, erwies sich dieses Unternehmenswissen als sehr hilfreich und ergänzend zu etwaigen Checklisten und Screenings.²⁶³

Wichtige Erfahrungen konnten auch in Ägypten gesammelt werden. Eine eher ernüchternde Tatsache war, dass zwei staatliche Unternehmen, die solare Prozesswärmeeinheiten installiert hatten, diese vermutlich aus Kostengründen nach einer Firmenübernahme wieder deinstallierten. Dies zeigt, dass das Konzept derzeit noch nicht genügend Zustimmung findet. Zudem scheinen die Umstände, die zur Integration einer solaren Anlage in bestehende Prozesse führen, nicht zwangsläufig Hauptkriterien für die Projektrealisierung darzustellen. Vielmehr bedarf es laut Literatur einer deutlichen Förderung der Wirtschaftlichkeit der Anlage, um das Konzept auch für privat geführte Anlagen interessant zu machen. Wobei die Bedeutung des hierdurch entstehenden Eingriffs in die freie Marktwirtschaft und damit eine eingeleitete Wettbewerbsverzerrung nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Eine positive Erkenntnis war, dass die Amortisationszeit aufgrund der guten klimatischen Bedingungen auf viereinhalb Jahre reduziert werden konnte, was gegenüber anderen Regionen eine deutliche Verbesserung darstellt. Hinsichtlich des bei einer dritten Anlage verbauten Parabolrinnenkonzepts konnten zusätzliche Erfahrungen gesammelt werden. Die flexiblen Schnittstellen des Nachführsystems hatten ein Leck aufgezeigt, wodurch die gesamte Verbindung Schaden nahm. Dadurch konnten die Spiegel nicht mehr der Sonne nachgeführt oder in

²⁶³ vgl. So-Pro, 2011a, S.6ff.

Schutzposition gestellt werden. Hinzu kam Ölaustritt aus dem Absorber, wodurch die Glasschicht, die die gesamte Apertur bedeckte, abmontiert werden musste. Anstelle der einfachen Glasschicht wechselte man zu einer sogenannten Hot Box, die aus drei Glasschichten bestand. Zwischen diesen Schichten sammelte sich jedoch Sand an. Hierdurch wurden im Absorber nicht mehr die benötigten Temperaturen erreicht, weshalb es man diese Applikation wiederum entfernen musste. Nach den Reparaturen konnte die Anlage jedoch wieder in Betrieb genommen werden. Somit können 1,3 Tonnen gesättigter Dampf mit 175 Grad und 8 bar/Stunde erzeugt werden. Dies ermöglichte u.a. den Ersatz von einigen Ölbrennern durch dual betriebende Erdgas- oder Heizölbrenner.²⁶⁴

4.3.4 Hemmnisse für die Technologie

Bedeutende Hemmnisse für die breite Anwendung der Technologie stellen einerseits das derzeit noch geringe Bewusstsein über solare Prozesswärme sowie die Konkurrenz der Niedertemperaturanwendungen dar. Obwohl CSP-Konzepte andere, höhere Temperaturbereiche bedienen, konkurrieren z.B. Flachkollektoren, da hier bereits wesentlich mehr Erfahrungswerte gesammelt werden konnten. Dadurch besteht eine wesentlich höhere Zuverlässigkeit, was die Einbindung in bestehende Prozesse betrifft. Zudem ist diese Kollektorart um ein Vielfaches preiswerter und kann trotzdem für die meisten Prozesse unter 160 Grad eingesetzt werden. Es ist daher wahrscheinlich, dass solare Prozesswärme in industriellen Prozessen erst weiter Einzug nehmen muss, bevor CSP-Anlagen ihr Potential durch mehr Beachtung und Weiterentwicklung ausschöpfen können.²⁶⁵

Insgesamt muss dem Markt für solare Prozesswärme derzeit noch breite Skepsis seitens der Unternehmen, die Prozesswärmeanlagen implementieren könnten, nachgesagt werden. Dies ist ein bekanntes Phänomen, wenn es um die Einführung neuer Technologien in altbewährte Prozesse geht. Nachdem es sich zudem um betriebliche Prozesse handelt, die bei Störungen den wirtschaftlichen Erfolg des Unternehmens gefährden könnten, ist die Hemmschwelle für Neuerungen besonders hoch. Ein zu eliminierender technischer Aspekt ist hier das Stocken des Prozessflusses durch Überhitzung der Komponenten. Forscher haben sich bereits eingehend mit dem Thema auseinandergesetzt, doch es bedarf der allgemeinen Klärung des Sachverhalts, um die Risiken solcher betriebsgefährdenden Einschnitte zu minimieren und Vertrauen zu schaffen. Dazu kommt noch die ungeordnete Datenstruktur, die keine klaren Schlussfolgerungen oder ausreichende Erkenntnisse aus bereits gewonnenen Daten zulässt. Die Qualität betreffend besteht eine zusätzliche Unsicherheit für Unternehmen. Internationale Initiativen wie die Global Solar Water Heating Market Transformation and Strengthening Initiative (SHAMCI)

²⁶⁴ vgl. OME, 2010, S.41ff.

²⁶⁵ vgl. UNIDO, 2010, S.33

bemühen sich um die Schaffung einheitlicher Standards, um Aspekten unsicherer Qualität vorzugreifen. Einige Länder in MENA haben sich zu diesen Richtlinien bereits bekannt. Darunter Ägypten, Libyen, Marokko, Libanon, Jemen, Saudi Arabien, Bahrain, Syrien, Katar, Palestina, Kuwait, Jordanien und Tunesien. Jedoch ist trotzdem noch nicht sichergestellt, dass sich alle Hersteller an die Standards halten. Weitere Aspekte sind die Flächenverfügbarkeit und Komplexität der Anlagenintegration. Hausdächer bieten sich generell für Solaranlagen an, jedoch werden diese Flächen oft bereits anderweitig genutzt. Für CSP-Anlagen würden sich zudem eher freie Flächen anbieten. Diese Möglichkeit bietet sich jedoch nur wenigen Unternehmen bzw. am ehesten bei Verlagerung des Unternehmensstandortes. Ist eine geeignete Fläche gefunden, so kann stets die Komplexität der Anlagenintegration Schwierigkeiten verursachen. Daraus folgt, dass das Arbeitspersonal qualifiziert sein muss. Nachdem in der Öffentlichkeit generell noch wenig Zugang zu dem Thema vorherrscht, sehen Experten diesen Punkt zwar derzeit noch nicht als relevant für etwaige Bewältigungsmaßnahmen an, jedoch wird der Aspekt umso wichtiger werden, je mehr Bedeutung solare Prozesswärme erlangt. Ein Punkt, an dem hingegen schon vermehrt gearbeitet wurde, ist die Amortisationszeit, die einen wichtigen wirtschaftlichen Aspekt darstellt. Neben der geographischen und klimatischen Abhängigkeit bedarf es hier noch erheblichen Forschungsaufwands, um die Technologie kompetitiv zu machen. Unterstützend sind hier Förderungsprogramme, jedoch scheinen Prozesswärmeanwendungen nicht in dem Regierungsprogrammen zu erneuerbarer Energie auf, was die Finanzierungsfindung erschweren könnte.^{266,267,268,269,270}

4.3.5 Marktprognose

Der Kostenfaktor wird auch in Zukunft die Entscheidung bzgl. der Integration einer solaren Prozesswärmeanlage dominieren. Von der UNIDO werden bis 2050 nur Anlagen bis 100 Grad als wirtschaftlich rentabel vermerkt. Der künftige Fokus auf Niedertemperaturanwendungen wird zudem durch die von internationalen Instituten in Prognosen gesetzten Schwerpunkte ersichtlich. Meist scheinen Hochtemperaturanlagen wie CSPs nicht in den Zukunftsberichten auf und es werden schwerpunktmäßig nur bereits verbreitete Technologien der solaren Wärmenutzung für häusliche, Poolbeheizungs- und Kühlzwecke thematisiert. Diese sollen im Bestfall einen Marktanteil von 16% erlangen. Betrachtet man vereinzelt bestehende Prognosen für industrielle Anlagen, werden Kapazitäten von 5,6 EJ/Jahr in 2050 erwartet, die potentielle 2,4 EJ/Jahr durch CSPs noch ausschließen. Der CSP-Wert

²⁶⁶ vgl. OME, 2010, S.52f.

²⁶⁷ vgl. UNEP, 2014, S.16ff.

²⁶⁸ vgl. http://www.shamci.net/wp-content/uploads/2013/08/SHAMCI-network-members_2013.pdf

²⁶⁹ vgl. Carbon Trust, 2013, S.20

²⁷⁰ vgl. Fischer et al., 2015, S.3ff.

wird jedoch scheinbar als real nicht sehr tragbar betrachtet, nachdem er in den weiteren gebildeten Szenarien nicht inkludiert wird. Laut UNIDO machen China und OECD Länder zwei Drittel der Abnehmer aus. Installationen in Afrika mit 3% und im Mittlere Osten mit weniger als 1% werden demnach auch künftig nur einen sehr kleinen Markt stellen. Was die Sektoraleverteilung betrifft, wird fast die Hälfte der Anlagen in der Nahrungsmittel- und Tabakindustrie verbaut sein, ein Fünftel im Maschinen- und Anlagenbau und jeweils ungefähr ein Sechstel im Bergbau sowie Textil- und Lederbereich.^{271,272,273,274}

²⁷¹ vgl. IRENA, 2014, S.28

²⁷² vgl. UNIDO, 2010, S.13

²⁷³ vgl. UNEP, 2014, S.16

²⁷⁴ vgl. UNIDO, 2010, S.30

5 Fazit

In der Arbeit wurden zwei Themen behandelt: stochastisches Projektmanagement für eine neuartige solarkonzentrierende Pilotanlage und das Marktpotential dieser Anwendung im Bereich Entsalzung und Prozesswärme im Mittleren Osten und Nordafrika. Als Heranführung an den ersten Themenpunkt wurden eingangs die Grundlagen des Projekt- und Risikomanagements erarbeitet. Darauf folgte die kombinierte Betrachtung in Form eines parameterstochastischen Projektmanagements mit starkem Bezug auf erneuerbare Energieanlagen. Dem lagen Studien der International Energy Agency sowie der Europäischen Kommission zu Risikomanagement in Projekten zu nachhaltiger Energieerzeugung zugrunde. Aber auch diverse auf dem Fachgebiet etablierte Literatur zum Vorgehen bei den Risikomanagementprozessen sowie zur Akzeptanz stochastischen Projektmanagements wird herangezogen. Aufbauend auf den theoretischen Informationen wurde anschließend das Pilotanlagenprojekt geplant und Risiken wurden mit Hilfe des Programms @Risk simuliert.

Im zweiten Abschnitt wurde vorerst auf die vorliegenden wirtschaftlichen, politischen und natürlichen Bedingungen im Mittleren Osten und Nordafrika eingegangen. Aufgezeigt wurden dabei die sehr positiven Sonneneinstrahlungsverhältnisse sowie die politische Motivation durch Anreize wie einen stimulierten Arbeitsmarkt und internationale Förderungen. Jedoch wurden auch Hindernisse wie ein extrem niedriger Ölpreis, vergleichsweise schlecht ausgeprägte Subventionsstrukturen für erneuerbare Energien, hohe Risikozuschläge seitens der Kapitalgeber und ein mangelhafter Netzausbau angesprochen. Für den Bereich Entsalzung wurden die Entsalzungstechnologien Reverse Osmosis, Multi-Effect-Distillation und Multistage-Flash-Distillation sowie deren Kombinationsmöglichkeit mit solaren Energieanlagen erklärt. Ergänzend wurde dabei auch auf die Konkurrenz durch andere erneuerbare Energieanlagen hingewiesen und der Vorteil von Solarthermie erarbeitet. Des Weiteren wurden die natürlichen Voraussetzungen wie die Kriterien zur Eignung der Landflächen für den Bau der Anlagen und politische wie wirtschaftliche und technologische Hemmnisse für die Technologien erläutert. Dem bereits bestehenden Markt, involvierten Firmen und Ergebnissen aus Erfahrungen mit Demonstrationsanlagen wurde ebenfalls Beachtung geschenkt. Im Abschnitt Prozesswärme wurde auf den Wettbewerb mit anderen erneuerbaren Energiekonzepten wie Biomasse, Geothermie und Wärmepumpen hingewiesen. Zudem wurden die anderen Solaranlagen beschrieben und ihre Konkurrenz in einer Marktübersicht aufgezeichnet. Ebenso wurden Messergebnisse diskutiert und Technologiehindernisse wie eine lange Amortisationszeit und ein geringer Erfahrungsschatz bei der Prozessintegration beschrieben.

Aus den im Zuge des Projektmanagements erarbeiteten Informationen kann geschlossen werden, dass der Bau der Pilotanlage laut Basisplan 422 Tage dauern und EUR 126.567 kosten wird. Werden mögliche Terminabweichungen bei den Arbeitspaketen sowie der Einfluss von Risiken miteinbezogen und mit @Risk simuliert, so entstehen wesentlich höhere Werte. Hierbei wurde zwischen zwei Szenarien unterschieden – einem ohne Anwendung von Risikomaßnahmen und einem mit. Werden keine Maßnahmen getroffen, um die Auswirkungen der Risiken einzugrenzen, fallen im Mittel EUR 107.066 an Zusatzkosten an, die den eingeplanten Ressourcenkosten aufgeschlagen werden müssen. Zudem würde sich hierdurch die Projektdauer im Schnitt um 1.477 Tage verlängern, d.h. um das 3,5-fache. Werden mögliche Risikomaßnahmen angewandt und somit die Wahrscheinlichkeit des Eintritts von bestehenden Risiken reduziert, so können wesentlich geringere Werte erzielt werden. Hierbei würden sich die zu erwartenden Zusatzkosten nur mehr auf EUR 48.411 und die zu erwartende Zusatzdauer auf 664 Tage belaufen. Daraus resultieren Projektgesamtkosten von EUR 170.757 und eine Gesamtdauer von 975 Tagen. Um die Risiken gemäß der Risikoakzeptanz des Start-ups zu berücksichtigen, kann je nach Konfidenzpräferenz aus den Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen der entsprechende Wert, mit dem weiter geplant wird, abgelesen werden. Gemäß der Sensitivitätsanalyse, sollten während des Projektverlaufs besonders die Risiken des Abwerbens von guten Arbeitskräften durch etabliertere Unternehmen sowie zu hoher Entgeltforderungen seitens qualifizierten Personals und die Gewährung der finanziellen Projektförderung unter Beobachtung bleiben.

Hinsichtlich der Ergebnisse der Markanalyse ist festzuhalten, dass Daten bestehen, die für CSP-Anlagen geeignete Standorte kennzeichnen. Dies und die Tatsache, dass einige geeignete Flächen vorhanden sind, machen die Planung und das Betreiben von Anlagenerrichtungen wesentlich kalkulierbarer. Die Haupteinsatzgebiete für Entsalzung konnten bisher für den Bereich Trinkwasseraufbereitung und industrielle Prozesse verzeichnet werden. Zudem zeigen Analysen, dass das Betreiben von Entsalzungseinheiten mit CSP-Anlagen aufgrund der konstanten Leistung im Hybridbetrieb eine sehr gute Kombination darstellt und bereits einige Erfahrung auf dem Gebiet anhand von Demonstrationsanlagen gesammelt werden konnte. Vorteilhaft schnitt bei mehreren Studien die Verbindung mit einer RO-Einheit ab. Bei der Entscheidung in diesen Markt einzutreten sollten aber beachtet werden, dass es durchaus zu Problemen bei den Schnittstellen der Entsalzungs- und Energiegewinnungseinheiten kommen kann. Des Weiteren kann einem Bauvorhaben durchaus der Wille der Bevölkerung entgegenstehen, da das Nebenprodukt der Entsalzung, die Salzlösung, zu Umweltbelastungen führt. Aber auch die inkohärente Kommunikation zwischen den an einem Anlagenbau beteiligten Parteien sowie teils mangelhafte Daten über den Markt können Schwierigkeiten bergen.

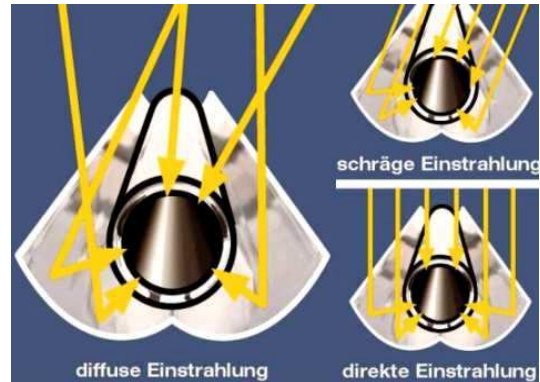
In Bezug auf Prozesswärmeanlagen wird in der MENA Region vor allem solarthermischen Anlagen sowie Wärmepumpen und Geothermieeinheiten Marktpotential zugesagt. Zudem besteht das Bestreben industrielle solare Prozesswärme weltweit bekannter zu machen und auch durch entsprechende Qualitätsmechanismen das Vertrauen in die Anlagen zu stärken. Jedoch wird der Solarmarkt derzeit von preisgünstigeren Niedertemperaturanwendungen besetzt und auch für die Zukunft wird erwartet, dass sich dieser Trend fortsetzt. Nachdem mit CSP-Anlagen vergleichsweise hohe Kosten und eine Amortisationszeit von bis zu 25 Jahren verbunden sind, wird sich ihr verstärkter Einsatz, trotz der sehr gut für industrielle Prozesse geeigneten Temperaturbereiche, noch weit in die Zukunft verschieben.

6 Anhang

Anhang 1: Parabolic Through Kollektor im Kollektorfeld²⁷⁵



Anhang 2: Wirkungsweise und der Bauart des Compound Parabolic Kollektors²⁷⁶



Anhang 3: Compound Linear Fresnel Kollektor im Kollektorfeld²⁷⁷



Anhang 4: Parabolic Dish Kollektor mit Stirling Motor im Kollektorfeld²⁷⁸



Anhang 5: Anlage eines Heliostat Field Kollektors²⁷⁹



²⁷⁵ vgl. <http://www.largescalesolar.org/technology.php#parabolicDish>

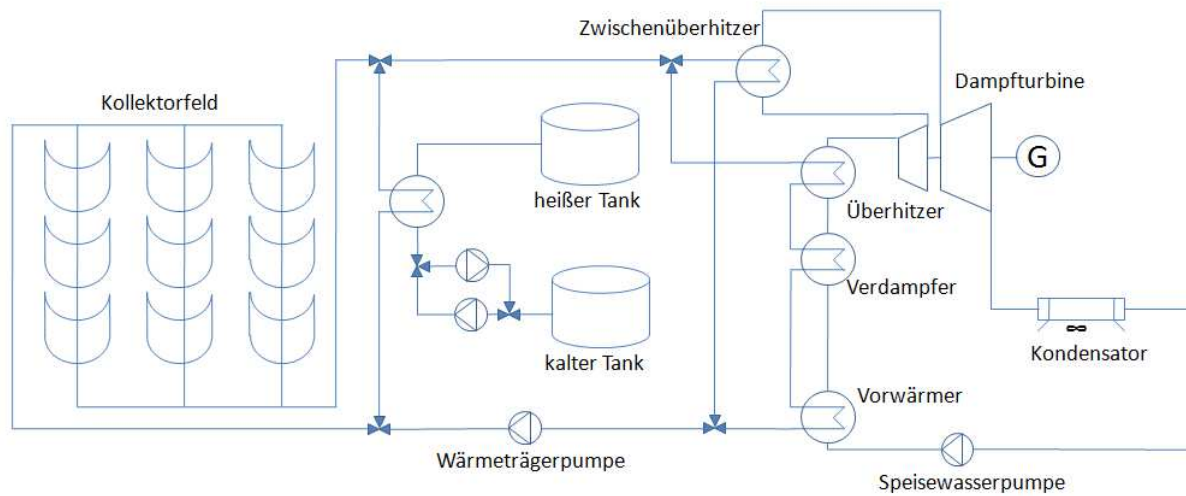
²⁷⁶ ebenda

²⁷⁷ ebenda

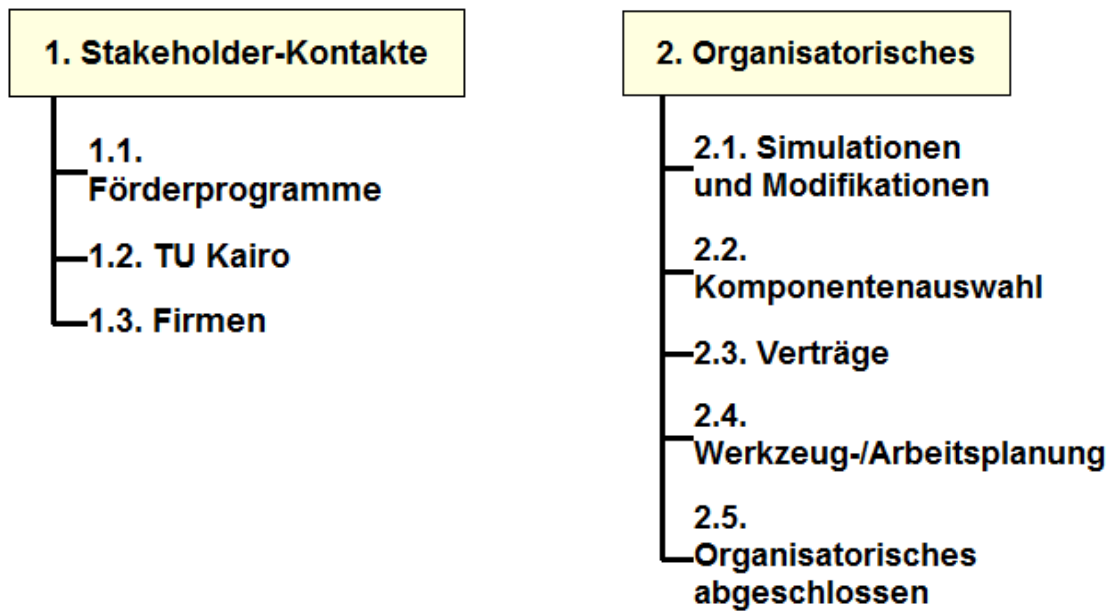
²⁷⁸ vgl. <http://www.intechopen.com/books/application-of-solar-energy/fuel-production-using-concentrated-solar-energy>

²⁷⁹ vgl. <http://www.largescalesolar.org/technology.php#parabolicDish>

Anhang 6: Anlagenschaltbild eines konventionellen PTC Kraftwerks



Anhang 7: Zerlegung des Projektstrukturplans in die Elemente der ersten Hierarchieebene



3. Projektmanagement

- 3.1. Planung
- 3.2. Überwachung
- 3.3. Controlling

4. Bestellungen

- 4.1. Bestellung Alu-Bleche
- 4.2. Bestellung Profile
- 4.3. Bestellung Elektronik
- 4.4. Bestellung Rohre und Anschlüsse
- 4.5. Bestellung Kleinkomponenten
- 4.6. Bestellung Folien
- 4.7. Bestellung Pumpen
- 4.8. Bestellung HTF
- 4.9. Bestellung Wärmetauscher
- 4.10. Komponenten alle geliefert

5. Komponenten vorbereiten

- 5.1. Vorbereiten Unterkonstruktion
- 5.2. Vorbereiten Reflektor
- 5.3. Vorbereiten Elektronik
- 5.4. Rohrleitungsfittings
- 5.5. Komponenten versandfertig

6. Standortvorbereitung

- 6.0. Einschulung der Arbeiter
- 6.1. Landbearbeitung
- 6.2. Montagezelt
- 6.3. Arbeitsmaschinen/Werkzeuge bereitstellen
- 6.4. Infrastruktur vorbereiten
- 6.5. Fundament gießen
- 6.6. Standort vorbereitet

7. Transport

- 7.1. Komponentenversand
- 7.2. Lieferung vorort

8. Vorortmontage

- 8.1. Montage Unterbau
- 8.2. Verankerung im Fundament
- 8.3. Montage Reflektor
- 8.4. Montage Elektronik
- 8.5. Montage Wärmetauscher
- 8.6. Rohrverlegung
- 8.7. Einschulung
- 8.8. Pilotanlagenaufbau abgeschlossen

Anhang 8: Arbeitspaketliste mit Arbeitspaketattributen

Arbeitspaket-name	Verantwortlicher	Inhalt	Ziele	Nicht-Ziele	Schnittstellen	Ergebnis (Vertrag, Angebot, ect.)
Stakeholder-Kontakte						
Förderprogramme	Ahmed	Kontakt und Absprache mit Förderstellen	Erhalt von Fördergeldern	Kein Private Equity oder Venture Capital	Förderstellen	Schriftliche Zusage der Förderung
TU Kairo	Ahmed	Kontakt und Absprache bzgl. des Errichtungsortes und des benötigten wissenschaftlichen Personals	Geklärte Verhältnisse hinsichtlich Personal für Messungen und Anlagenerrichtung		Professoren der TU Kairo	
Firmen	Ahmed	Kontakt und Absprache ob ein Testbetrieb erwünscht wäre	Akquirierung von Industriepartnern			Schriftliche Zusage, dass ein Testbetrieb am Industrie-standort erwünscht ist
Organisatorisches						
Simulationen und Modifikationen	CTO	Produkt wird detaillierter simuliert und Modifikationen werden vorgenommen	Belastungen und Verformungen des Produkts sind charakterisiert			Simulationsdatei
Komponentenauswahl	CTO	Auswahl geeigneter Komponenten	Bestimmung von Komponenten, die gemäß ihren Spezifikationen zusammen passen und ihren Zweck verlässlich erfüllen			Komponentenliste
Verträge	CFO	Abklären der Verträge mit ägyptischen Firmen zur Landbearbeitung und Montage sowie allen weiteren	Rechtlich abgesicherte Planungsgrundlage			Angebote und Verträge mit Firmen
Werkzeug/Arbeitsplatzplanung	CFO	Planung der Arbeitsplatz- und Werkzeugverfügbarkeit	Überblick über benötigte Werkzeuge und Arbeitsplätze			Terminplan der die benötigten Ressourcen Arbeitsplatz und Werkzeuge kennzeichnet

Projektmanagement						
Planung	Projektmanager/Operational Manager	Planung des Projekts	Übersicht über Vorgänge, Zeit und Kosten			Projektstrukturplan Ressourceneinsatzplan, Netzplan
Überwachung	Projektmanager	Überwachung des Projekts	Überblick über die Tätigkeiten im Projektverlauf und Abstimmung mit dem Basisplan			Earned Value Analyse
Controlling	Projektmanager	Kontrolle des Projekts	Überblick über die Tätigkeiten der Projektplanung und der -überwachung sowie Zusammenführung der Daten			
Bestellung						
Bestellen Alu-Bleche	CTO + PM	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Alu-Bleche			Unterzeichnete Angebote
Bestellen Profile	CTO + PM	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Profile		Vöst Alpine	Unterzeichnete Angebote
Bestellen Elektronik	CTO + PM	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Elektronik			Unterzeichnete Angebote
Bestellen Rohre/Anschlussstücke/Ventile	CTO + PM	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Rohre/Anschlussstücke/Ventile			Unterzeichnete Angebote
Bestellen Kleinkomponenten	CTO + PM	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Kleinkomponenten			Unterzeichnete Angebote
Bestellen Folie	CTO + PM	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Folien			Unterzeichnete Angebote
Bestellen Pumpen	CTO + PM	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung möglichst preisgünstiger aber qualitativ hochwertiger Pumpen			Unterzeichnete Angebote
Bestellen Wärmetauscher	CTO + PM	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung eines möglichst preisgünstigen aber qualitativ hochwertigen Wärmetauschers			Unterzeichnete Angebote
Bestellen HTF	CTO + PM	Kontaktaufnahme mit den Händlern und Erarbeiten eines passenden Angebots	Bestellung von möglichst preisgünstigem aber qualitativ hochwertigem Wärmeträgermedium (HTF)			Unterzeichnete Angebote

Komponenten vorbereiten						
Vorbereiten Unterkonstruktion	CTO	Vorbereitung der Unterkonstruktion durch entsprechende Verarbeitung der Profile	Unterkonstruktion so weit als möglich vormontiert			
Vorbereiten Reflektor	PM	Stanzen und Laminieren der Alu-Bleche	Fertige Reflektoren			
Vorbereiten Elektronik	CTO	Elektronik entsprechend einstellen und für Montage vorbereiten	Elektronik kann vor Ort gleich verbaut werden ohne zusätzliche Einstellungen			
Rohrleitung-fittings	CTO + PM	Rohre und Anschlüsse so gut wie möglich vorbereiten und Halterungen anpassen	Rohre passen sicher in die Halterung und Verbindungsteile lassen sich verknüpfen			
Geländevorbereitung						
Landbearbeitung	Ahmed	Ebnung der Landflächen, Aushebung des Fundaments sowie entsprechende Vorbereitung für die reibungsfreie Montage	Landfläche ist so vorbereitet, dass die Anlage ohne weiteres Zutun errichtet werden kann	Keine Bearbeitung jenseits der benötigten Flächen	Baufirma	
Arbeits-/ Lagerzelt	Ahmed	Errichtung des Zelts zur Lagerung der Komponenten bis zur Montage sowie zum Bearbeiten der Komponenten für die Montage	Arbeits-/Lagerzelt aufgebaut und so gut befestigt, dass Komponenten gelagert und Arbeiten darin verrichtet werden können		Baufirma	
Werkzeuge/ Arbeitsmaschinen bereitstellen	Ahmed	Werkzeuge und Arbeitsmaschinen für die Montagearbeiten werden vor Ort bereitgestellt	Alle Maschinen und Geräte die zur Montage benötigt werden sind ordentlich vorbereitet	Keine Bereitstellung von Maschinen oder Geräten, die von den Arbeitern für die Montage mitgebracht werden	Baufirma	
Infrastruktur (Wasser/Elektrizität)	Ahmed	Legung der Leitungen für Wasser und Elektrizität	Infrastruktur sowie vorbereitet, dass nach bei der Montage nur noch angeschlossen werden muss		Installateur, Elektriker	
Fundament gießen	Ahmed	Ausgießen der Fundamentgrube	Fundament ist breit, sodass bei der Montage direkt mit der Verankerung des Unterbaus begonnen werden kann		Baufirma	

Transport						
Komponenten- versand	PM	Alle Komponenten werden sicher in einer Versandeinheit verpackt und nach Ägypten geschickt	Komponenten sind gleichzeitig am Standort in Ägypten	Einzelne Sendungen	Spedition	Komponenten-checkliste, Versandbestätigung
Vorortmontage						
Unterbau	CTO + Ahmed	Profile werden verschweißt und als kompletter Unterbau errichtet	Unterbau ist komplett zusammengebaut und muss nur noch aufgestellt werden		Mechaniker	
Verankerung im Fundament	CTO + Ahmed	Verankerung des Unterbaus	Unterbau ist fest im Boden verankert		Mechaniker	
Reflektor	CTO + Ahmed	Montage des Reflektors (Montage der Rollen, Seile, Abspannen der Folien)	Reflektor ist montiert, in Form gebracht und sicher befestigt		Mechaniker	
Elektronik	CTO + Ahmed	Montage des Nachführsystems, des Motors und allen weiteren Elektronikkomponenten	Elektronik ist einsatzbereit		Elektriker	
Wärmetauscher	CTO + Ahmed	Montage aller Rohre, Pumpen und weiteren Komponenten des Wärmetauschers	Wärmetauscher funktionsfähig		Installateur	
Rohrverlegung	CTO + Ahmed	Verlegung der Absorber- und Anschlussrohre	Absorber und alle sonstigen Rohre sind verlegt		Installateur	
Einschulung	CTO + Ahmed	Schulung des wissenschaftlichen Personals an der errichteten Anlage	Personal, dass die Messungen an der Pilotanlage durchführen soll, ist eingeschult			

Anhang 9: Risiken für erneuerbare Energieanlagen nach Altran in Bezug auf die Pilotanlage²⁸⁰

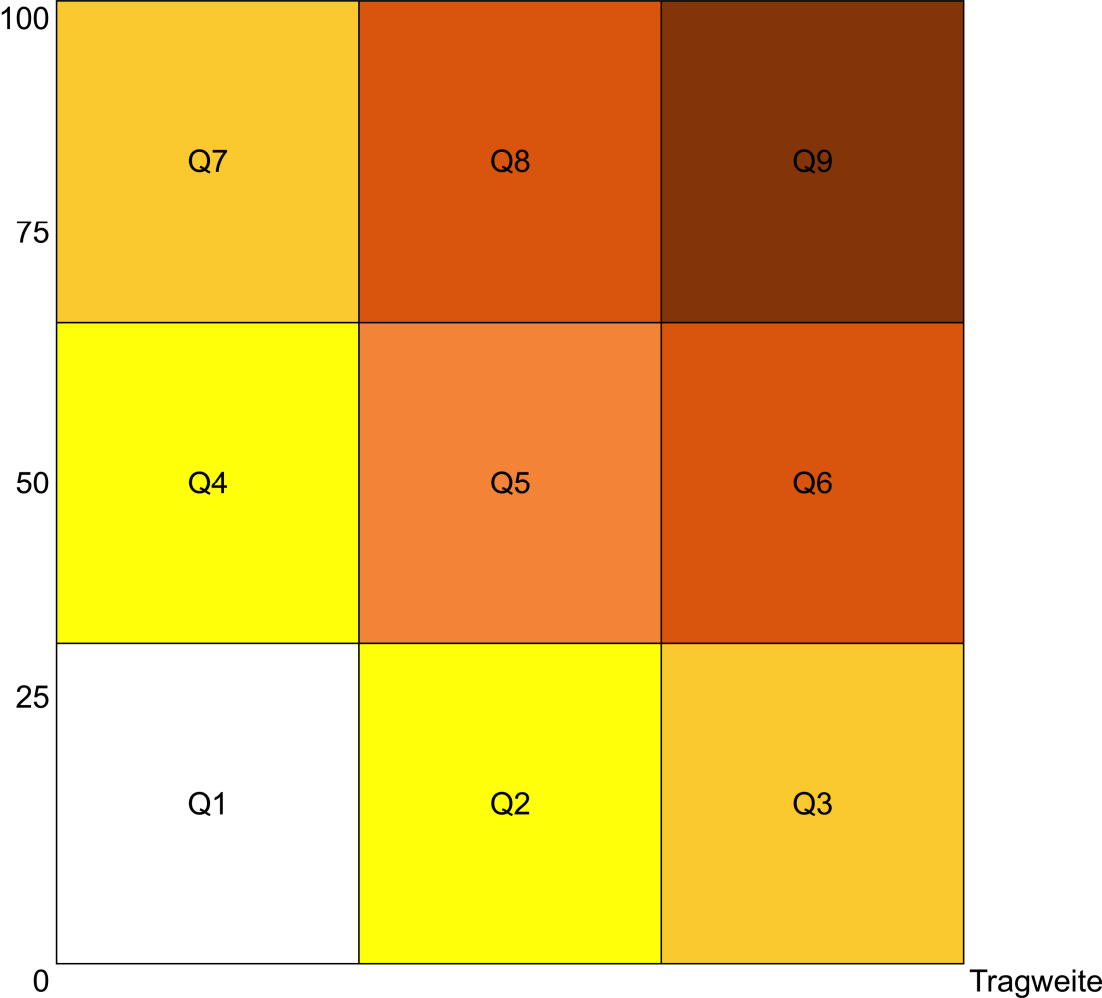
Risiken für das Projekt des Pilotanlagenbaus		
Politisch	Land	Politisch sehr instabil, hohe Wahrscheinlichkeit von Unruhen Regierungswechsel
		Änderung der RE Politik (Änderung der Quoten; Änderung der Marktverhältnisse)
		Geringe Möglichkeit, Einfluss auf Änderungen in der internationaler Energiepolitik auszuüben
	Finanzen	Steuererhöhung
		Entzug von Zuschüssen
		Regional unterschiedliche Zuschüsse
		Für Infrastruktur muss aufgekommen werden
	Legislatur	(Keine Risiken)
	Regulierungen	(Keine Risiken bzgl. Umweltstörung - Lautstärke, Wasser etc)
		(Keine Risiken bzgl. notwendiger Gesundheits-/Sicherheitsnachweise)
		Mehrstufiges Zulassungssystem
		(Keine Risiken bzgl. Einspeisungsvolumen, Preis, Netzverfügbarkeit)
	Wirtschaftlich	Finanziell
Verlust der Kreditwürdigkeit, von Refinanzierungsproblemen		
Preisverfalls/-anstiegs durch Währungsfluktationen		
Verweigerung der Haftung der Versicherung (bei mechanischen Problemen, Diebstahl ect.)		
(Keine Risiken bzgl. Derivaten, Hedges oder Swaps)		
Preisvolatilität		Erhöhte Rohstoffpreise, die zum Betrieb benötigt werden
		Erhöhte Energiepreise, Preise für die Entsorgung von Nebenprodukten oder Mietspesen
		Preisanstieg des Arbeitspersonals
		Pachterhöhung
		(Keine Risiken bzgl. Blindleistung)
Volumen		Änderung der Wetterkonditionen oder Rohstoffverfügbarkeit
		(Keine Risiken ein vertraglich vereinbartes Volumen nicht zu erreichen)
		(Keine Speicherrisiken)
		(Keine Blindleistungsrisiken)

²⁸⁰ vgl. Altran et al., 2011, S.56f.

	Vertraglich	Vorsätzliches Nichteinhalten von Vereinbarungen
		Zerstörung durch höhere Gewalt (Unwetter, Krieg, etc)
		Verhandlungen neuer Preise
Sozial	Sicherheit	Schäden an Anlagenteilen
		Verzug durch Personenschaden
		Schaden involvierter Dritter
	Umwelt	Ressourcenengpässe (Wasser etc.)
		(Keine Risiken bzgl. Umweltschäden/Störung des Gleichgewichts (Erdreich, Grundwasser, Luft))
		(Keine Risiken bzgl. Verschmutzung (Chemikalien etc.))
		(Keine Risiken bzgl. übermäßigen Abfall)
	Arbeit	Arbeitskräftemangel in Hinsicht auf Planeinhaltung
		Mangel an qualifizierten Arbeitern
		(Keine Risiken den vorgeschriebenen Anteil an lokalem Personal nicht zu erreichen)
	Öffentlichkeit	Korruption und Sabotage
		(Keine Risiken bzgl. Ablehnung durch NGOs u.ä.)
Technisch	Leistung	Nicht Erbringung der geplanten Leistung
		Verfehlen des Wirkungsgrades
		(Keine Risiken bzgl. Qualität, da keine Einspeisung)
	Servicefaktor	Hohe Fehleranfälligkeit (Beanspruchungsmöglichkeit von Gewährleistung)
		Schlechte Wartbarkeit durch schwierige Ersatzteilbeschaffung, Wetterbedingungen etc.
		Deutlich erhöhte operative Kosten (verstärkter Arbeitskräftebedarf, Änderung der Regulatorien etc.)
	Projekt	Zeitliche Verzögerungen aufgrund von Wetterbedingungen, Konkurs von Zulieferern etc.
		Erhöhte Kapitalkosten durch Preisanstieg der Rohstoffe, Spezifikationsveränderungen, erforderliche Dienstleistungen
		Vergessene Einbauteile, unpassende Schnittstellen, falsche Spezifikationen, Auftragsänderungen
		Hohe Entsorgungskosten/-aufwand
		Schlechte Koordination bzw. Beziehungen mit Vertragspartnern/Auftragnehmern
		Zu langsam im Vergleich zum Wettbewerb

Anhang 10: Aufteilung der Quadranten des Risikoprofolios

Eintrittswahrscheinlichkeit



Anhang 11: Analyse der Risiken nach Risikolevel der Kosten im Portfolio

Risikolevel	Hauptkategorie Risiken	Unterkategorie Risiken	spezifische Risiken
Q1	Sozial	Sicherheit	Rohrverbindungen wegen Montagefehler undicht => Verbrennungen
Q1	Sozial	Umwelt	Ressourcenengpässe (z.B. Wasser)
Q1	Sozial	Arbeit	Kooperation mit beauftragten Unternehmen funktioniert nicht => es muss nach neuen Firmen gesucht werden
Q1	Sozial	Arbeit	Fehlerhaftes Anschließen der verschiedenen Rohre wegen zu geringem Know-how => Lecks
Q1	Sozial	Arbeit	Mangel an qualifizierten Personal für die Produkt-Weiterentwicklung führt zu extra (Ein-)Schulungen
Q1	Sozial	Arbeit	Unstimmigkeiten im Team, sozial inkompatibel
Q1	Technisch	Projekt	Drehachse nicht perfekt ausgelegt => unvorteilhafte Kräfte auf Getriebe
Q1	Technisch	Projekt	Falsche Auslegung: Verbindungsschnittstelle zwischen Motor und Getriebe ist nicht Gesamtgravitationsmittelpunkt => unvorteilhafte Radial-/Axialkräfte
Q1	Technisch	Projekt	Rollen zu hoch belastet durch Montagefehler => Verformungen & nicht mehr fluchtend
Q1	Technisch	Projekt	Missachtung der Montagereihenfolge bei der Spiegeleinspannung => Verbeulung der Spiegeln durch zu punktuelle Belastungen
Q1	Technisch	Projekt	Spiegelösen schadhaft durch falsche Bearbeitungsreihenfolge/-nachbesserungen (nach Kaltlaminieren dürfen keine weiteren Bearbeitungen mehr folgen)
Q1	Technisch	Projekt	Schweißnähte and Unterprofilen nicht robust genug
Q1	Wirtschaftlich	Finanziell	Zusätzliche Sicherheitsausrüstungen nötig
Q1	Sozial	Sicherheit	Nicht-Beachten von Sicherheitsvorschriften führt zu Komponentenschäden
Q1	Sozial	Arbeit	Kooperationspartner der TU Kairo verhindert (erkrankt etc.)
Q1	Technisch	Projekt	Windlasten übersteigen die berechneten Spitzenwerte
Q1	Technisch	Projekt	Getriebe und Motor halten die Widerstände/Lasten nicht aus
Q1	Technisch	Projekt	Blockierte Kreisprozesse wegen blockiertem/verschlossenem Ventil => Pumpe überhitzt
Q1	Technisch	Projekt	Ungenügender Wärmeaustausch wegen zu geringem Gegenstrom im Wärmetauscher => schlecht für HTF
Q1	Technisch	Projekt	Gesamtpaket (für Ägypten) nicht sicher genug verpackt => defekte Spiegel
Q1	Technisch	Projekt	Komponenten sind in den vorgesehenen Größen/Spezifikationen nicht verfügbar/sofort bestellbar
Q1	Politisch	Regulierungen	Genehmigungen werden nicht mehr bewilligt
Q1	Sozial	Sicherheit	Verzug durch Personenschaden

Risikolevel	Hauptkategorie Risiken	Unterkategorie Risiken	spezifische Risiken
Q1	Sozial	Sicherheit	Verzug wegen extremen Wetterbedingungen
Q1	Sozial	Arbeit	Schlechte Kommunikation mit/zwischen Arbeitern führt zu Verzug bei Landbearbeitung und Vormontage
Q1	Technisch	Projekt	Alu-Blechgrößen stimmen nicht mit Foliengrößen überein => Nachbearbeitung/-bestellung wird nötig
Q1	Technisch	Projekt	Absorberrohr passt nicht in Halterung
Q1	Technisch	Projekt	Boden hat nicht geforderte Stabilität weil sehr sandig
Q1	Politisch	Regulierungen	Politische Kontaktperson im Ministerium ausgetauscht: Verweigerung des Zutritts zur Anlagen (keine Ansprechperson um am Wächter vorbeizukommen)
Q1	Politisch	Regulierungen	Politische Kontaktperson im Ministerium ausgetauscht: beauftragten Dritten wird der Zutritt verweigert und müssen trotzdem bezahlt werden
Q1	Sozial	Arbeit	Unterbrechnungen des Informationsflusses führen zu Kontrollverlust des Arbeitsfortschrittes
Q1	Technisch	Projekt	Seile zu festgespannt => reißen
Q1	Wirtschaftlich	Preisvolatilität	Rohstoffpreise steigen signifikant (Stahl etc.)
Q1	Politisch	Regulierungen	Politische Kontaktperson im Ministerium ausgetauscht: Vereinbarungen zu IP-Rechten werden missachtet
Q1	Technisch	Projekt	HTF erlangt Gefrierpunkt
Q1	Technisch	Projekt	Wasser im Wärmetauscher erlangt Gefrierpunkt
Q1	Technisch	Projekt	Falsches HTF wird nachgefüllt (Vorort)
Q1	Politisch	Land	Landstreifen wird durch Radikale besetzt
Q2	Politisch	Land	Unruhen wodurch Sicherheitspersonal benötigt wird
Q2	Wirtschaftlich	Vertraglich	Miete wird verlangt, obwohl in den Vereinbarungen nicht einkalkuliert
Q2	Technisch	Projekt	Anzahl der Abhänger doch nicht korrekt ausgelegt um Verformungen zu verhindern
Q2	Technisch	Projekt	Verankerung nicht tief/stark genug
Q2	Technisch	Projekt	Fundament hält Lasten nicht aus
Q2	Technisch	Projekt	Nachführsystem durch Montagefehler fehlerhaft (Stopper wird nicht betätigt wegen falscher Positionierung) => Komplettschaden
Q2	Politisch	Land	Neue Technologien kommen auf den Markt und werden stattdessen unterstützt
Q2	Politisch	Finanzen	Selbstaufkommen für Wasser-/Elektrizitätsleitungsverlegung (Infrastruktur)
Q3	Wirtschaftlich	Vertraglich	Meilensteine werden laut Förderpartnern nicht eingehalten => neue Geldtrangen werden nicht überwiesen
Q3	Sozial	Sicherheit	Seile zu fest gespannt => Sicherheitsrisiko durch "fliegende" Seile

Risikolevel	Hauptkategorie Risiken	Unterkategorie Risiken	spezifische Risiken
Q3	Sozial	Sicherheit	Arbeits-/Montagezelt ist fehlerhaft montiert => Ausreißen bei starken Windlasten, Sicherheitsrisiko durch "fliegende" Teile
Q3	Politisch	Finanzen	Keine Unterstützung von CSP mehr => Personal für Testbetrieb muss selbst bezahlt werden
Q3	Sozial	Arbeit	Qualifizierte Arbeiter wollen Entlohnung jenseits der zur Verfügung gestellten Unternehmensanteile
Q3	Sozial	Arbeit	Arbeiter arbeiten lieber bei etablierten Unternehmen => Zusatzlohn
Q4	Wirtschaftlich	Finanziell	Nachbestellungen wegen mangelnden Ersatzteilen (direkt nach Ägypten)
Q4	Sozial	Arbeit	Korruption nötig um Arbeiten fortsetzen zu können
Q4	Sozial	Arbeit	Kontaktpartner von Komponentenlieferanten kommunizieren nicht (Auftrag uninteressant weil keine Stückmengen)
Q4	Technisch	Leistung	Fehlerhaftes Fluchten der Rollen wegen fehlendem Know-how der Monteure => Wirkungsgradverlust
Q4	Technisch	Projekt	Kaltlamination wird falsch gemacht (beauftragte Firmen haben ggf. kaum Erfahrung damit)
Q4	Technisch	Projekt	Lieferteile passen nicht zusammen, falsch angegebene Spezifikationen
Q4	Politisch	Finanzen	Förderstelle verlangt viel bürokratischen Aufwand
Q4	Wirtschaftlich	Finanziell	Stromnetz-Blackout
Q4	Sozial	Arbeit	Fahrlässigkeit des Reinigungspersonals => Schäden an den Spiegeln
Q4	Technisch	Projekt	Komponentenschäden wegen Sandstürmen
Q4	Technisch	Projekt	Folienränder an Spiegelrändern nicht dicht wegen Kaltlaminationsfehler => Wassereintritt
Q4	Technisch	Projekt	Beschädigung der reflektierenden Folie beim Kaltlaminieren
Q5	Wirtschaftlich	Finanziell	Einzelstückkosten höher als erwartet (Preisvorgaben basieren auf großen Einkaufsmengen, z.B. Nachführsystem etc.)
Q5	Wirtschaftlich	Finanziell	Simulationen/Produktmodifikationen zu komplex
Q5	Wirtschaftlich	Vertraglich	Zusatzversicherungen aus Haftungsgründen von Vertragspartnern gefordert (Transport, Personenschutz, etc.)
Q5	Technisch	Leistung	Messungen zeigen viel Nacharbeitungsbedarf in den Vorarbeiten
Q5	Technisch	Leistung	Datenbanken zu ägyptischen DNI-Daten fehlerhaft, geringere Werte => geringerer Wirkungsgrad
Q5	Technisch	Projekt	Stromnetz-Blackout verhindert, dass Kollektor in Schutzposition geht => Komponentenschaden
Q6	Wirtschaftlich	Finanziell	Zusätzlicher Softwarekauf nötig
Q6	Wirtschaftlich	Finanziell	Förderung wird nicht gestattet (=> Suche nach Private Equity & Business Angels, Unternehmensbewertung nötig)

Risikolevel	Hauptkategorie Risiken	Unterkategorie Risiken	spezifische Risiken
Q7	Technisch	Leistung	Ungenauge Abstimmung zwischen Seillänge, Abhänger-Länge, Blechgröße, Profilen (Toleranzen überschritten) => Wirkungsgradverlust
Q7	Technisch	Leistung	Verbindungspunkte Abhänger - Spiegelösen nicht richtig positioniert => Wirkungsgradverlust wegen schlechterer optischer Präzision
Q7	Technisch	Projekt	Inkomplette Lieferungen => Aufteilen des Pakets/der Lieferung nach Ägypten
Q7	Technisch	Projekt	Pumpenschaden => Wärmeabfuhr zu gering, HTF wird zu heiß
Q8	Technisch	Projekt	Einsatz von anderen Spiegelsegmenten aufgrund von Materialschwächen
Q8	Technisch	Projekt	Verbindung zwischen Abhänger und Reflektor/Unterkonstruktion nicht stabil genug um Windlasten zu ertragen
Q8	Technisch	Projekt	Spezifikationen die von Lieferanten angegeben werden stimmen nicht unter realen Bedingungen (z.B. Folie: Reflexionskoeffizient, Wetterbeständigkeit; Getriebe & Nachführsystem: Getriebeauslegung muss wirklich auf Nachführsystem passen), vorab nicht erkennbar

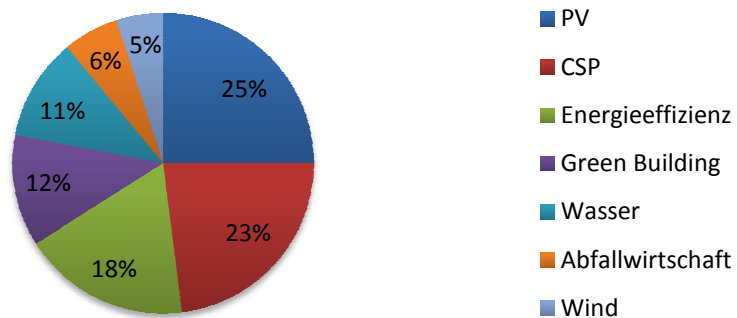
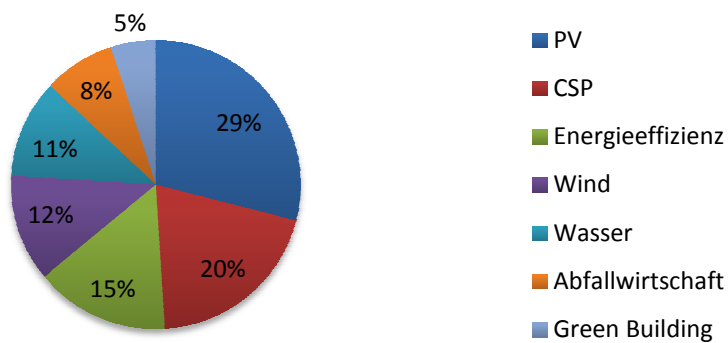
Anhang 12: Analyse der Risiken nach Risikolevel der Zeitverzögerung im Portfolio

Risikolevel	Hauptkategorie Risiken	Unterkategorie Risiken	spezifische Risiken
Q1	Politisch	Finanzen	Keine Unterstützung von CSP mehr => Personal für Testbetrieb muss selbst bezahlt werden
Q1	Wirtschaftlich	Finanziell	Zusätzliche Sicherheitsausrüstungen nötig
Q1	Sozial	Arbeit	Qualifizierte Arbeiter wollen Entlohnung jenseits der zur Verfügung gestellten Unternehmensanteile
Q1	Sozial	Arbeit	Arbeiter arbeiten lieber bei etablierten Unternehmen => Zusatzlohn
Q1	Sozial	Arbeit	Kooperationspartner der TU Kairo verhindert (erkrankt etc.)
Q1	Sozial	Sicherheit	Verzug durch Personenschaden
Q1	Sozial	Sicherheit	Verzug wegen extremen Wetterbedingungen
Q1	Sozial	Arbeit	Schlechte Kommunikation mit/zwischen Arbeitern führt zu Verzug bei Landbearbeitung und Vormontage
Q1	Technisch	Projekt	Alu-Blechgrößen stimmen nicht mit Foliengrößen überein => Nachbearbeitung/-bestellung wird nötig
Q1	Technisch	Projekt	Absorberrohr passt nicht in Halterung
Q1	Sozial	Arbeit	Unterbrechungen des Informationsflusses führen zu Kontrollverlust des Arbeitsfortschrittes

Risikolevel	Hauptkategorie Risiken	Unterkategorie Risiken	spezifische Risiken
Q1	Wirtschaftlich	Preisvolatilität	Rohstoffpreise steigen signifikant (Stahl etc.)
Q1	Politisch	Finanzen	Selbstaufkommen für Wasser-/Elektrizitätsleitungsverlegung (Infrastruktur)
Q1	Technisch	Projekt	HTF erlangt Gefrierpunkt (??)
Q1	Technisch	Projekt	Wasser im Wärmetauscher erlangt Gefrierpunkt
Q1	Technisch	Projekt	Falsches HTF wird nachgefüllt (Vorort)
Q2	Sozial	Sicherheit	Rohrverbindungen wegen Montagefehler undicht => Verbrennungen
Q2	Sozial	Umwelt	Ressourcenengpässe (z.B. Wasser)
Q2	Sozial	Arbeit	Kooperation mit beauftragten Unternehmen funktioniert nicht => es muss nach neuen Firmen gesucht werden
Q2	Sozial	Arbeit	fehlerhaftes Anschließen der verschiedenen Rohre wegen zu geringem Know-how => Lecks
Q2	Sozial	Arbeit	Mangel an qualifizierten Personal für die Produkt-Weiterentwicklung führt zu extra (Ein-)Schulungen
Q2	Sozial	Arbeit	Unstimmigkeiten im Team, sozial inkompatibel
Q2	Technisch	Projekt	Drehachse nicht perfekt ausgelegt => unvorteilhafte Kräfte auf Getriebe
Q2	Technisch	Projekt	Falsche Auslegung: Verbindungsschnittstelle zwischen Motor und Getriebe ist nicht Gesamtgravitationsmittelpunkt => unvorteilhafte Radial-/Axialkräfte
Q2	Technisch	Projekt	Rollen zu hoch belastet durch Montagefehler => Verformungen & nicht mehr fluchtend
Q2	Technisch	Projekt	Missachtung der Montagereihenfolge bei der Spiegeleinspannung => Verbeulung der Spiegeln durch zu punktuelle Belastungen
Q2	Technisch	Projekt	Spiegelösen schadhaft durch falsche Bearbeitungsreihenfolge/-nachbesserungen (nach Kaltlaminieren dürfen keine weiteren Bearbeitungen mehr folgen)
Q2	Technisch	Projekt	Schweißnähte and Unterprofilen nicht robust genug
Q2	Politisch	Land	Unruhen wodurch Sicherheitspersonal benötigt wird
Q2	Sozial	Sicherheit	Nicht-Beachten von Sicherheitsvorschriften führt zu Komponentenschäden
Q2	Technisch	Projekt	Windlasten übersteigen die berechneten Spitzenwerte
Q2	Technisch	Projekt	Getriebe und Motor halten die Widerstände/Lasten nicht aus
Q2	Technisch	Projekt	Blockierte Kreisprozesse wegen blockiertem/verschlossenem Ventil => Pumpe überhitzt
Q2	Technisch	Projekt	Ungenügender Wärmeaustausch wegen zu geringem Gegenstrom im Wärmetauscher => schlecht für HTF
Q2	Technisch	Projekt	Gesamtpaket (für Ägypten) nicht sicher genug verpackt => defekte Spiegel
Q2	Technisch	Projekt	Komponenten sind in den vorgesehenen Größen/Spezifikationen nicht verfügbar/sofort bestellbar

Risikolevel	Hauptkategorie Risiken	Unterkategorie Risiken	spezifische Risiken
Q2	Politisch	Regulierungen	Genehmigungen werden nicht mehr bewilligt
Q2	Technisch	Projekt	Verankerung nicht tief/stark genug
Q2	Technisch	Projekt	Boden hat nicht geforderte Stabilität weil sehr sandig
Q2	Technisch	Projekt	Fundament hält Lasten nicht aus
Q2	Politisch	Regulierungen	Politische Kontaktperson im Ministerium ausgetauscht: Verweigerung des Zutritts zur Anlagen (keine Ansprechperson um am Wächter vorbeizukommen)
Q2	Politisch	Regulierungen	Politische Kontaktperson im Ministerium ausgetauscht: beauftragten Dritten wird der Zutritt verweigert und müssen trotzdem bezahlt werden
Q2	Technisch	Projekt	Seile zu festgespannt => reißen
Q2	Politisch	Regulierungen	Politische Kontaktperson im Ministerium ausgetauscht: Vereinbarungen zu IP-Rechten werden missachtet
Q3	Wirtschaftlich	Vertraglich	Meilensteine werden laut Förderpartnern nicht eingehalten => neue Geldtrangen werden nicht überwiesen
Q3	Sozial	Sicherheit	Seile zu fest gespannt => Sicherheitsrisiko durch "fliegende" Seile
Q3	Sozial	Sicherheit	Arbeits-/Montagezelt ist fehlerhaft montiert => Ausreißen bei starken Windlasten, Sicherheitsrisiko durch "fliegende" Teile
Q3	Wirtschaftlich	Vertraglich	Miete wird verlangt, obwohl in den Vereinbarungen nicht einkalkuliert
Q3	Technisch	Projekt	Anzahl der Abhänger doch nicht korrekt ausgelegt um Verformungen zu verhindern
Q3	Technisch	Projekt	Nachführsystem durch Montagefehler fehlerhaft (Stopper wird nicht betätigt wegen falscher Positionierung) => Komplettschaden
Q3	Politisch	Land	Neue Technologien kommen auf den Markt und werden stattdessen unterstützt
Q3	Politisch	Land	Landstreifen wird durch Radikale besetzt
Q4	Wirtschaftlich	Finanziell	Einzelstückkosten höher als erwartet (Preisvorgaben basieren auf großen Einkaufsmengen, z.B. Nachführsystem etc.)
Q4	Wirtschaftlich	Finanziell	Zusätzlicher Softwarekauf nötig
Q4	Technisch	Leistung	Fehlerhaftes Fluchten der Rollen wegen fehlendem Know-how der Monteure => Wirkungsgradverlust
Q4	Wirtschaftlich	Finanziell	Stromnetz-Blackout
Q5	Wirtschaftlich	Finanziell	Simulationen/Produktmodifikationen zu komplex
Q5	Wirtschaftlich	Finanziell	Nachbestellungen wegen mangelnden Ersatzteilen (direkt nach Ägypten)
Q5	Wirtschaftlich	Vertraglich	Zusatzversicherungen aus Haftungsgründen von Vertragspartnern gefordert (Transport, Personenschutz, etc.)

Risikolevel	Hauptkategorie Risiken	Unterkategorie Risiken	spezifische Risiken
Q5	Sozial	Arbeit	Korruption nötig um Arbeiten fortsetzen zu können
Q5	Sozial	Arbeit	Kontaktpartner von Komponentenlieferanten kommunizieren nicht (Auftrag uninteressant weil keine Stückmengen)
Q5	Technisch	Leistung	Messungen zeigen viel Nacharbeitungsbedarf in den Vorarbeiten
Q5	Technisch	Projekt	Kaltlamination wird falsch gemacht (beauftragte Firmen haben ggf. kaum Erfahrung damit)
Q5	Technisch	Projekt	Lieferteile passen nicht zusammen, falsch angegebene Spezifikationen
Q5	Technisch	Projekt	Stromnetz-Blackout verhindert, dass Kollektor in Schutzposition geht => Komponentenschaden
Q5	Sozial	Arbeit	Fahrlässigkeit des Reinigungspersonals => Schäden an den Spiegeln
Q5	Technisch	Projekt	Komponentenschäden wegen Sandstürmen
Q5	Technisch	Projekt	Folienränder an Spiegelrändern nicht dicht wegen Kaltlaminationsfehler => Wassereintritt
Q5	Technisch	Projekt	Beschädigung der reflektierenden Folie beim Kaltlaminieren
Q6	Wirtschaftlich	Finanziell	Förderung wird nicht gestattet (=> Suche nach Private Equity & Business Angels, Unternehmensbewertung nötig)
Q6	Technisch	Leistung	Datenbanken zu ägyptischen DNI-Daten fehlerhaft, geringere Werte => geringerer Wirkungsgrad
Q6	Politisch	Finanziell	Förderstelle verlangt viel bürokratischen Aufwand
Q7	Technisch	Projekt	Inkomplette Lieferungen => Aufteilen des Pakets/der Lieferung nach Ägypten
Q8	Technisch	Projekt	Einsatz von anderen Spiegelsegmenten aufgrund von Materialschwächen
Q8	Technisch	Leistung	ungenau Abstimmung zwischen Seillänge, Abhänger-Länge, Blechgröße, Profilen (Toleranzen überschritten) => Wirkungsgradverlust
Q8	Technisch	Leistung	Verbindungspunkte Abhänger - Spiegelösen nicht richtig positioniert => Wirkungsgradverlust wegen schlechterer optischer Präzision
Q8	Technisch	Projekt	Pumpenschaden => Wärmeabfuhr zu gering, HTF wird zu heiß
Q8	Technisch	Projekt	Spezifikationen die von Lieferanten angegeben werden stimmen nicht unter realen Bedingungen (z.B. Folie: Reflexionskoeffizient, Wetterbeständigkeit; Getriebe & Nachführsystem: Getriebeauslegung muss wirklich auf Nachführsystem passen), vorab nicht erkennbar
Q9	Technisch	Projekt	Verbindung zwischen Abhänger und Reflektor/Unterkonstruktion nicht stabil genug um Windlasten zu ertragen

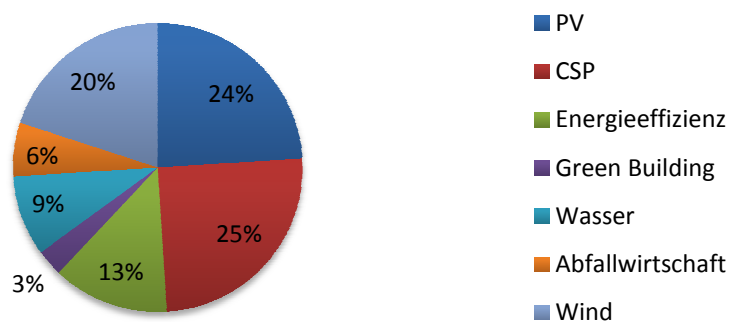
Anhang 13: Favorisierte Technologien für die nächsten fünf Jahre in den Golfstaaten²⁸¹**Golfstaaten****Anhang 14: Favorisierte Technologien für die nächsten fünf Jahre in Levante²⁸²****Levante**

²⁸¹ vgl. Ernst & Young, 2013, S. 13

²⁸² vgl. ebenda

Anhang 15: Favorisierte Technologien für die nächsten fünf Jahre in Nordafrika²⁸³

Nordafrika



²⁸³ vgl. ebenda

Anhang 16: CSP Anlagen in MENA^{284,285}

Projektname	Land	Kapazität	Entwickler / Integration	Kunde/ Besitzer	Technologie	Typ	Anschluss	EPC Provider	Technologie-provider	Zweck	Status
Hassi R'mel ISCC	Algeria	25.00 MW		Abengoa, NEAL, Sonatrach	Parabolic trough ISCC					Commercial	Operational
DLR - Algeria CSP tower pilot plant	Algeria	7.00 MW		DLR	Central receiver (power tower)					Demonstration	Development
Kom Ombo CSP project	Egypt	100.00 MW		NREA	Parabolic trough					Commercial	Development
TAQA Concentrated Solar Power Plant	Egypt	250.00 MW		TAQA Arabia	Central receiver (power tower)					Commercial	Planned
Kuraymat ISCC	Egypt	20.00 MW		NREA	Parabolic trough ISCC					Commercial	Operational
El Nasr Solar field	Egypt					parabolic through process heat					
Feasibility of Renewable energy utilization	Iran	2.5kw				Solar Thermal					
Evin Hotel Solar Lighting	Iran	0.01MW	Not Specified	Parsian Hotel Group		Street Solar Lighting		MORECO	Suntech		
Kerman Solar Rural electrification	Iran	0.1 KWp	Not Specified	Kerman Regional Electricity Company		PV Off-Grid		MORECO	Suntech		

²⁸⁴ vgl. [http://www.csp-world.com/cspworldmap?field_country_map_tid\[0\]=414&field_country_map_tid\[1\]=419&field_country_map_tid\[2\]=752&field_country_map_tid\[3\]=517&field_country_map_tid\[4\]=728&field_country_map_tid\[5\]=891&field_country_map_tid\[6\]=904&field_country_map_tid\[7\]=417&field_country_map_tid\[8\]=792&field_country_map_tid\[9\]=554&field_country_map_tid\[10\]=729&field_country_map_tid\[11\]=453&&order=name&sort=asc](http://www.csp-world.com/cspworldmap?field_country_map_tid[0]=414&field_country_map_tid[1]=419&field_country_map_tid[2]=752&field_country_map_tid[3]=517&field_country_map_tid[4]=728&field_country_map_tid[5]=891&field_country_map_tid[6]=904&field_country_map_tid[7]=417&field_country_map_tid[8]=792&field_country_map_tid[9]=554&field_country_map_tid[10]=729&field_country_map_tid[11]=453&&order=name&sort=asc)

²⁸⁵ vgl. <http://locator.solarmiddleeast.ae>

Projektname	Land	Kapazität	Entwickler / Integration	Kunde/ Besitzer	Technologie	Typ	Anschluss	EPC Provider	Technologie-provider	Zweck	Status
Yazd ISCC	Iran	17.00 MW			Parabolic trough ISCC					Commercial	Operational
Shiraz CSP demonstration plant (Mehr-Niroo project)	Iran	0.25 MW			Parabolic trough					Demonstration	Operational
Ashalim CSP plant 1	Israel	121.00 MW		Alstom, BrightSource Energy	Central receiver (power tower)					Commercial	Development
BrightSource SEDC	Israel	6.00 MW		BrightSource Energy	Central receiver (power tower)					Demonstration	Operational
Ashalim CSP plant 2	Israel	120.00 MW		Abengoa, Shikun & Binui Renewable Energy	Parabolic trough					Commercial	Development
Shneur Solar Thermal Power Plant	Israel	120.00 MW		Shikun & Binui Renewable Energy	Parabolic trough					Commercial	Planned
AORA Solar Tulip Tower - Samar	Israel	0.10 MW		AORA	Central receiver (power tower)					Demonstration	Operational
Two Sigma CSP plant	Israel	60.00 MW		Two Sigma	Parabolic trough					Commercial	Planned
HelioFocus Ramat Hovav	Israel	1.00 MW			Parabolic Dish					Commercial	Planned
The Ben-Gurion National Solar Energy Center	Israel				Parabolic trough					Research & Development	Operational
Weizmann Institute of Science	Israel				Central receiver (power tower)					Research & Development	Operational

Projektname	Land	Kapazität	Entwickler / Integration	Kunde/ Besitzer	Technologie	Typ	Anschluss	EPC Provider	Technologie-provider	Zweck	Status
Mitsubishi Jordan CSP plant	Jordan	50.00 MW		Mitsubishi Corp	To be announced					Commercial	Planned
Evolution Solar Jordan CSP plant	Jordan	50.00 MW			To be announced					Commercial	Planned
Catalyst Private Equity Jordan CSP plant	Jordan	50.00 MW			To be announced					Commercial	Planned
EJRE Maan CSP plant	Jordan	50.00 MW		EJRE	To be announced					Commercial	Planned
Abengoa Solar Jordan CSP plant	Jordan	25.00 MW		Abengoa	To be announced					Commercial	Planned
Al Abdaliyah Integrated Solar Combined Cycle (ISCC)	Kuwait	60.00 MW			Parabolic trough ISCC					Commercial	Development
Shagaya project KISR	Kuwait	50.00 MW		Kuwait Institute for Scientific Research	Parabolic trough					Demonstration	Planned
Zeenni Trading Agency CSP plant Bsarma El Koura	Lebanon	2.80 MW		Zeenni Trading Agency	Parabolic trough					Commercial	Planned
Assa-Zag PV Project	Morocco	1		Morocco Ministry of Energy Mines Water and the Environment							
Ouarzazate	Morocco	160.00 MW		ACWA, Aries, MASEN, TSK	Parabolic trough					Commercial	Under construction

Projektname	Land	Kapazität	Entwickler / Integration	Kunde/ Besitzer	Technologie	Typ	Anschluss	EPC Provider	Technologie-provider	Zweck	Status
Ouarzazate 2	Morocco	100.00 MW		MASEN	Central receiver (power tower)					Commercial	Development
Ouarzazate 3	Morocco	200.00 MW		MASEN	Parabolic trough					Commercial	Development
Airlight Energy Ait Baha CSP Plant	Morocco	3.00 MW		Cimar, Italcementi Group	Parabolic trough					Demonstration	Under construction
CNIM eCare Solar Thermal Project	Morocco	1.00 MW		CNIM	Fresnel					Demonstration	Development
Ain Beni Mathar ISCC	Morocco	20.00 MW		Office Nationale de l'Electricite	Parabolic trough ISCC					Commercial	Operational
GlassPoint Amal STEG Plant	Oman	7	GlassPoint Solar Inc		Parabolic Trough	Ground-mount	Grid-connected	Arabian Industries LLC	GlassPoint		
Oman Botanic Gardens	Oman	0.7	Enviromena			Ground-mount	Grid-connected				
Petroleum Development Oman EOR plant	Oman			Petroleum Development Oman	Parabolic trough					Commercial	Operational
Colony Mills Punjab STEG Project	Pakistan	50	Colony Mills Ltd	Colony Mills Ltd							
Miccgreentec solar III	Pakistan	5 KWp	MiccGreen Tec Solar	MR Riaz Sheikh		Villa Roof Top		MiccGreenTec Solar UAE	MiccGreenTec Solar UAE		
Miccgreentec solar IV	Pakistan	5 KWp	TMG International	Aviation Enclave		100% Off Grid Solar Powered Construction site Office		MiccGreenTec Solar UAE	MiccGreenTec Solar UAE		
Solar ATM Machine	Pakistan	1.4kWp	Buksh Energy Pvt. Ltd.	UBL Bank		Solar PV		Buksh Energy Pvt. Ltd.	SMA		

Projektname	Land	Kapazität	Entwickler / Integration	Kunde/ Besitzer	Technologie	Typ	Anschluss	EPC Provider	Technologie-provider	Zweck	Status
Miccgreentec solar V	Pakistan	5 KWp	MiccGreen Tec Solar	Bashir Farms		100% Off Grid Solar Powered Water Tube Well		MiccGreenTec Solar UAE	MiccGreenTec Solar UAE		
Pakistan First on Grid PV Solar System	Pakistan	356 KWp	Sanyo Japan	Pakistan Engineering Council and Planning Commission of Pakistan		Grid Connected PV Solar System		Mitsubishi	Sanyo		
Miccgreentec solar VI	Pakistan	5 KWp	MiccGreen Tec Solar	J.K Textile Mills Faisalabad		100% Off Grid Solar Power system		MiccGreenTec Solar UAE	MiccGreenTec Solar UAE		
Miccgreentec solar VIII	Pakistan	5 KWp	MiccGreen Tec Solar	Jamia Masjid Salman Farsi		100% Off Grid Solar Powered Camel Farm		MiccGreenTec Solar UAE	MiccGreenTec Solar UAE		
Miccgreentec solar IX	Pakistan	5 KWp	MiccGreen Tec Solar	Mr Arshad		100% Off Grid Solar Powered Camel Farm		MiccGreenTec Solar UAE	MiccGreenTec Solar UAE		
Miccgreentec solar X	Pakistan	20 KWp	MiccGreen Tec Solar	MiccGreen Tec Lahore Office		100% Off Grid		MiccGreenTec Solar	MiccGreenTec Solar		
Light and Peace Solar Park	Palestine	100 Kw	Light and Peace for Sustainable Energy	Light and Peace for Sustainable Energy		Solar		Light and Peace for Sustainable Energy	Light and Peace for Sustainable Energy		
Qatar National Convention Centre	Qatar	0.776	GreenGulf	Qatar Foundation	Poly c-Si	Roof-mount	Grid-connected	Enviromena and Green Gulf	Solar World		

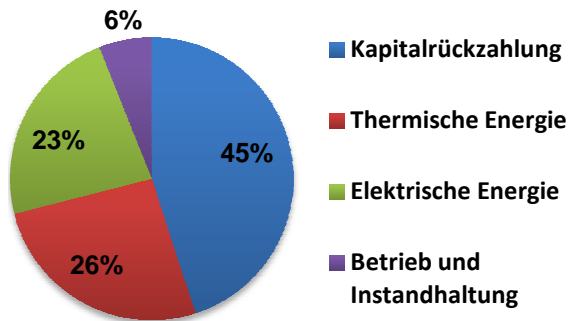
Projektname	Land	Kapazität	Entwickler / Integration	Kunde/ Besitzer	Technologie	Typ	Anschluss	EPC Provider	Technologie-provider	Zweck	Status
Student Housing	Qatar	0.8	Enviromena	Qatar Foundation		Roof-mount	Grid-connected	Enviromena and Green Gulf	Solarworld		
Aramco North Park parking lot PV	Saudi Arabia	10		Saudi Aramco	CIS	Parking structure	Grid-connected	BELECTRIC / Sun and Life (ACWA Holding)	Solar Frontier		
Farasan Island 500 kW	Saudi Arabia	0.5		Showa Shell	CIS	Ground-mount	Grid-connected	National Solar Systems	Solar Frontier		
KAUST Rooftop PV	Saudi Arabia	2	Conergy	KAUST	Mono c-Si	Roof-mount	Grid-connected	Conergy / National Solar Systems	Sun Power		
Princess Noura University district heating system	Saudi Arabia	17	Millennium Energy Industries	Princess Noura University		Roof-mount	Grid-connected	Millennium Energy Industries	GreenOneTech		
KAPSARC	Saudi Arabia	41762	Phoenix	ARAMCO		Ground-mount	Grid-connected	Phoenix Solar / Naizak Global Eng.	Suntech		
Technopark of Electricity	Saudi Arabia	4800 m				Technopark of Electricity					
Government of Tunisia and NEDO El Borma STEG Plant	Tunisia	5	New Energy and Industrial Technology Development Organization; Tunisian Republic	New Energy and Industrial Technology Development Organization; Tunisian Republic							
El Borma ISCC	Tunisia	5.00 MW		SITEP, STEG	Tower - ISCC					Commercial	Planned
TuNur	Tunisia	2 000.00 MW		Glory Clean Energy, Nur Energie, TOP Oilfield Services	Central receiver (power tower)					Commercial	Development

Projektname	Land	Kapazität	Entwickler / Integration	Kunde/ Besitzer	Technologie	Typ	Anschluss	EPC Provider	Technologie-provider	Zweck	Status
TN-STEG Concentrated Solar Power plant	Tunisia	50.00 MW		STEG	Parabolic trough					Commercial	Planned
Masdar City 10 MW PV Plant	UAE	5		Masdar (100%)	Cd-Te	Ground-mount	Grid-connected	Enviromena	First Solar		
Masdar City 10 MW PV Plant	UAE	5		Masdar (100%)	Poly c-Si	Ground-mount	Grid-connected	Enviromena	Suntech		
Masdar SAF 2, solar thermal cooling	UAE	0.26		Masdar	Linear Fresnel	Ground-mount	Not Applicable	Masdar	Sopogy		
Meydan Racetrack Rooftop PV	UAE	0.75				Roof-mount	Grid-connected	Suntech	Suntech		
Shams Tower Rooftop PV	UAE	0.291		Aldar (sold to Abu Dhabi gov?)	c-Si	Parking structure	Grid-connected	Enviromena	Suntech		
Shams 1 Solar IPP	UAE	100		Masdar (60%), Total (20%) and Abengoa (20%)	Parabolic Trough	Ground-mount	Grid-connected	Abener / Teyma (both Abengoa subsidiaries)	Abengoa		
Masdar-MIST 1A	UAE	1	SunEdison	Masdar	Mono c-Si	Roof-mount	Grid-connected	The State Group	Suntech		
ADNEC	UAE	0.111	ALSA	ADNEC		Roof-mount		Alsa Solar	Suntech		
Sustainable Villa	UAE		Aqua Power	Private		Roof					
Palm Farm	UAE	0.06	Aqua Power	Private		Ground-mount		Aqua Power			
Ras Gurab	UAE		Aqua Power	Private		Ground					
Officer's Club	UAE	0.115	Elecnor	Masdar		Roof-mount		Elecnor	Trina Solar		
Al Wathba Stables	UAE	0.189	Enviromena	Masdar	Poly c-Si	Roof-mount	Grid-connected	Enviromena	Suntech		
14 Lakes	UAE		Envitech	Private		Ground					

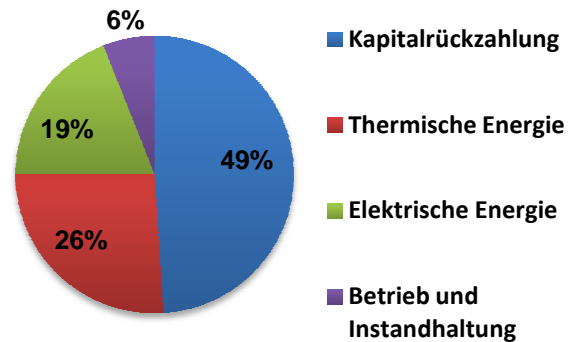
Projektname	Land	Kapazität	Entwickler / Integration	Kunde/ Besitzer	Technologie	Typ	Anschluss	EPC Provider	Technologie-provider	Zweck	Status
Al Ameen School	UAE	0.05	Nashwan	ADEC		Roof-mount	Grid-connected	Nashwan Solar	Suntech		
Qushawira Camp	UAE	0.368	Q-Cells	CCC		Roof-mount	Off-grid	CCC	Cquels		
Dubai Airport	UAE		ALSA	Dubai Airport		Parking structure	Grid-connected	Alsa Solar	BP Solar		
Miccgreentec solar I	UAE	15 KW p	MiccGreen Tec Solar	D4D Tourism		100% Off Grid Solar Powered Desert Safari Camp					
Miccgreentec solar II	UAE	20 KWp	MiccGreen Tec Solar	Al Rahoomi Group		Grid Interactive 20KW					
Miccgreentec solar VII	UAE	15 KWp	MiccGreen Tec Solar	Saeed Suhail Saeed Camal Farm		100% Off Grid Solar Powered Camel Farm		MiccGreenTec Solar UAE	MiccGreenTec Solar UAE		
Cycle Racing Track	UAE	550	Not Specified	Engineer's Office		Solar Street Lights		EO	Majjan Group		
Shams 1	UAE	100.00 MW		Abengoa Solar, Masdar, Total	Parabolic trough					Commercial	Operational
Solar Beam Down Plant	UAE	0.10 MW		Cosmo Oil, Masdar, Tokyo Institute of Technology	Central receiver (power tower)					Research & Development	Operational
MicroCSP Solar Cooling at Masdar	UAE			Masdar	Parabolic trough					Commercial	Operational

Anhang 17: Prozentuale Jahreskostenverteilung nach Technologie (MSF, MED und RO)²⁸⁶

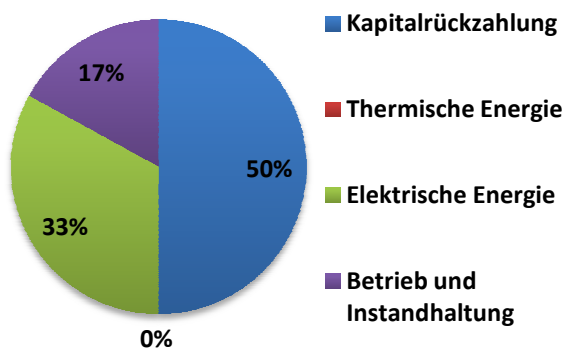
Jahresgesamtkosten - MSF



Jahresgesamtkosten - MED



Jahresgesamtkosten - RO



²⁸⁶ vgl. The World Bank , 2012, S.76

Anhang 18: Wirtschaftliches erneuerbare Energiepotential in TWh/Jahr pro Energiequelle nach Land²⁸⁷

	Hydro	Geo	Bio	CSP	Wind	PV
Algeria	0,5	4,7	12,3	135771	35	20,9
Bahrain	0	0	0,2	16	0,1	0,5
Djibouti	0	0	0	300	1	50
Egypt	50	25,7	14,1	57140	125	54
Gaza and Westbanks	0	0	1,7	8	0,5	20
Iran	48	11,3	23,7	32134	12	54
Iraq	67	0	8,8	24657	20	34,6
Israel	7	0	2,3	151	0,5	6
Jordan	0,1	0	1,6	5884	5	6,7
Kuwait	0	0	0,8	1372	n.a.	3,8
Lebanon	1	0	0,9	5	1	5
Libya	0	0	1,8	82714	15	7,8
Malta	0	0	0,1	0	0,2	0,2
Morocco	4	10	14,3	8428	35	17
Oman	0	0	1,1	14174	8	4,1
Qatar	0	0	0,2	555	n.a.	1,5
Saudi Arabia	0	70,9	10	75832	20	20,8
Syria	4	0	4,7	8449	15	17,3
Tunisia	0,5	3,2	3,2	5673	8	3,7
United Arab Emirates	0	0	0,7	447	n.a.	9
Yemen	0	107	9,1	8486	3	19,3
Total	182	233	111	462196	304	356

²⁸⁷ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.8-110

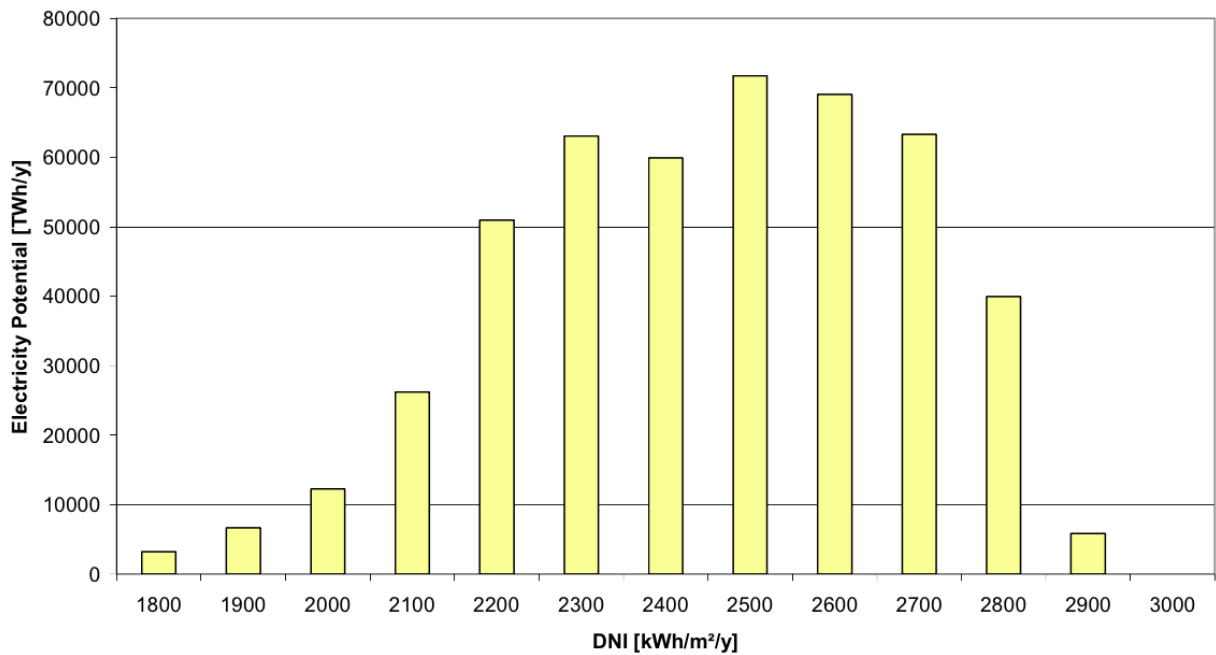
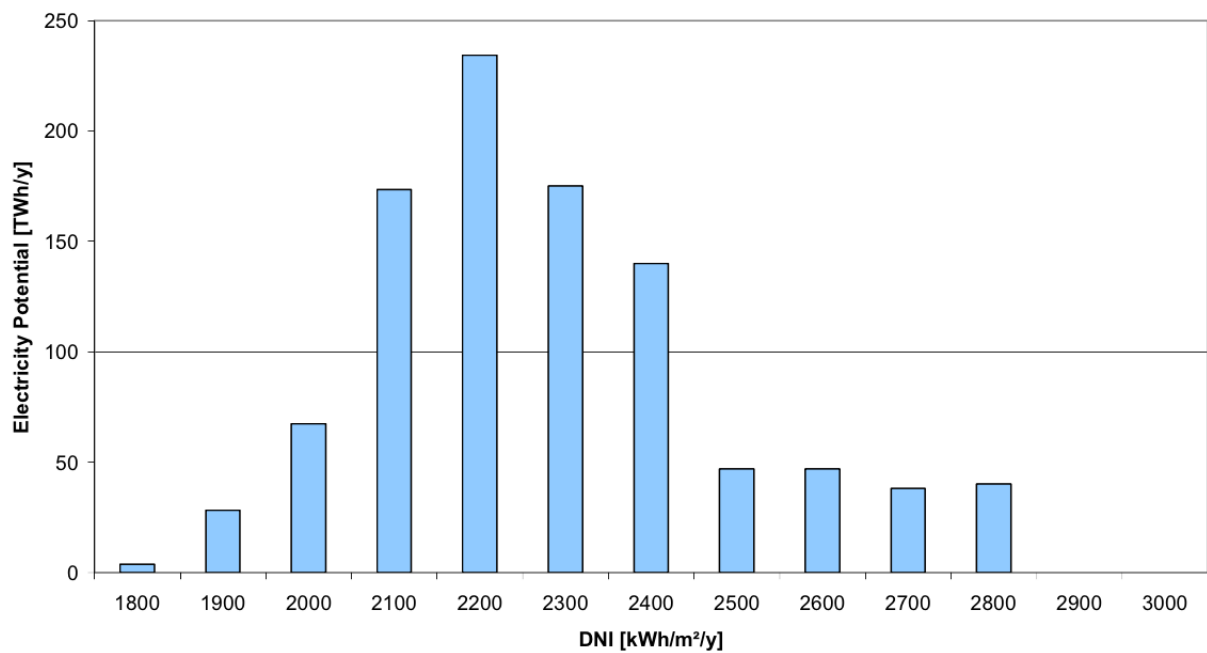
Anhang 19: Landausschlusskriterien aufgeteilt nach zwingenden und optional zu betrachtenden Kriterien mit Bewertungen für die Szenarien „Total“ und „Coast“²⁸⁸

Exclusion Criteria	Compulsive	Optional	Total	Coast
Terrain				
Slope > 2,1%	x		x	x
Land Cover				
Post-flooding or irrigated croplands (or aquatic)	x		x	x
Rainfed croplands		x	x	
Mosaic cropland / vegetation		x	x	
Forest (>5m)		x	x	x
Mosaic forest, shrubland or grassland		x	x	
Shrubland (<5m)		x	x	
Herbaceous vegetation		x		
Sparse vegetation		x		
Permanently or regularly flooded areas	x		x	x
Artificial surfaces and associated areas (Urban areas >50%)		x	x	x
Bare areas		x		
Water bodies	x		x	x
Permanent snow and ice	x		x	x
No data (burnt areas, clouds, ...)	x		x	x
Population Density				
Population density > 50 persons per km ²		x	x	x
Hydrology				
Lake	x		x	x
Reservoir	x		x	x

²⁸⁸ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.5-73f.

Exclusion Criteria	Compulsive	Optional	Total	Coast
River	x		x	x
Freshwater Marsh, Floodplain	x		x	x
Swamp Forest, Flooded Forest	x		x	x
Coastal Wetland	x		x	x
Pan, Brackish/Saline Wetland	x		x	x
Bog, Fen, Mire	x		x	x
Intermittent Wetland/Lake		x	x	x
Geomorphology				
Shifting Sand, Dunes	x		x	x
Security Zone for Shifting Sands 10km		x	x	x
Salt Pans		x	x	x
Glaciers	x		x	x
Security Zone for Glaciers 10km		x	x	x
Protected Area				
IUCN Ia		x	x	x
IUCN Ib		x	x	x
IUCN II		x	x	x
IUCN III		x	x	x
IUCN IV		x	x	x
IUCN V		x	x	x
IUCN VI		x	x	x
Others		x	x	x
Infrastructure				
Airports		x	x	x
Desalination plants (capacity > 50,000 m ³ /day)		x	x	x
Security Zone for Desalination Plants 500 m		x	x	x

Exclusion Criteria	Compulsive	Optional	Total	Coast
Other exclusion criteria				
Suitable area < 4km ²		x	x	x
Distance from shore (onshore) > 5km (pipeline length onshore max. 5km)		x		x
Distance to area with 5m water depth > 5km (pipeline length offshore max. 5km)		x		x
Site > 20m a.s.l.		x		x
Tight bays and lagoons		x		x

Anhang 20: Leistungspotential nach Direktnormalstrahlung für das Szenario "Total"²⁸⁹**Anhang 21: Leistungspotential nach Direktnormalstrahlung für das Szenario „Coast“²⁹⁰**

²⁸⁹ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.5-82

²⁹⁰ vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.5-83

Anhang 22: Daten für das wirtschaftliche und technische Potential nach Ländern basierend auf deren Direktnormaleinstrahlung (* Daten vom Iran von der NASA, von Djibouti von NREL, von allen anderen von DLR)²⁹¹

	Total		Coast	
	Technical Potential [TWh/y]	Economical Potential [TWh/y]	Technical Potential [TWh/y]	Economical Potential [TWh/y]
Algeria	13582	135771	0,3	0
Bahrain	16	16	9	9
Djibouti*	372	300	0	0
Egypt	57143	57140	74	74
Gaza Strip and Westbanks	8	8	0	0
Iran*	32597	32134	267	267
Iraq	27719	24657	0	0
Israel	151	151	2	2
Jordan	5885	5884	0	0
Kuwait	1372	1372	18	18
Lebanon	5	5	0	0
Libya	82727	82714	135	132
Malta	0	0	0	0
Morocco	8463	8428	15	15
Oman	15460	14174	84	84
Qatar	696	555	56	43
Saudi Arabia	76318	75832	152	152
Syria	9616	8449	1	1
Tunisia	5762	5673	58	49
United Arab Emirates	493	447	15	15
Yemen	11432	8486	108	104
Total	472057	462196	995	964

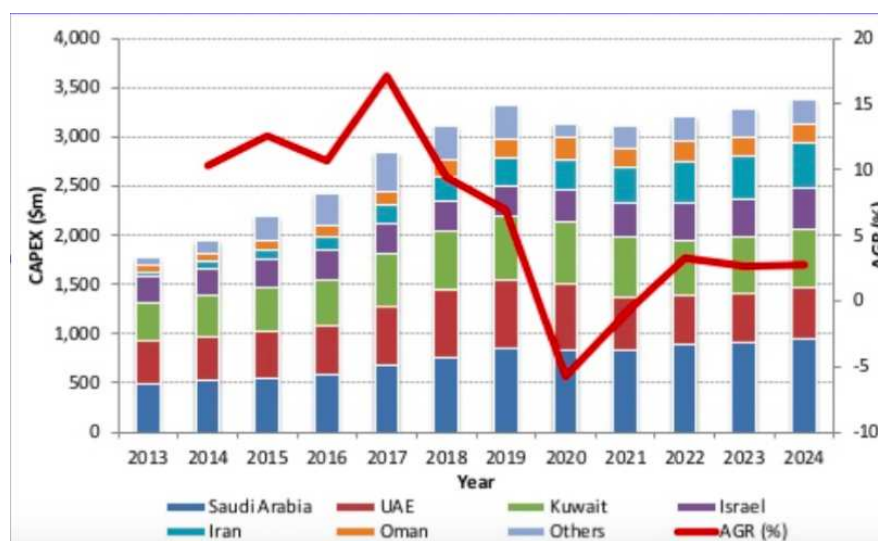
* DNI data for Iran from NASA, for Djibouti from NREL, for all others DNI from DLR

²⁹¹ vgl. ebenda

Anhang 23: Darstellung des CSP Potentials in Kombination mit dem Elektrizitäts- und Wasserbedarf des jeweiligen Landes (BCM ... billion cubic meters, d.h. eine Milliarde Kubikmeter), rot dargestellte Zahlen weisen auf ein Unvermögen hin, den Bedarf zu decken, grüne darauf, dass der Bedarf mit RO und MED Anlagen gedeckt werden kann, blau, dass er hauptsächlich durch RO anlagen gedeckt wird²⁹²

	Total CSP	CSP	Coastal CSP	CSP-SWD	Power	RO only	RO or MED	CSP-SWD	Total Water
	Potential	Demand 2050	Potential	Demand 2050	Demand	Supply 2050	Supply 2050	Demand 2050	Demand 2050
	TWh/y	TWh/y	TWh/y	TWh/y	kWh/m ³	BCM/y	BCM/y	BCM/y	BCM/y
Algeria	135771	120	0.0	7.5	3.5	2.1	0.0	2.1	13.6
Bahrain	16	4	8.6	1.3	4.3	0.0	0.3	0.3	0.4
Djibouti	300	1	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	0.1
Egypt	57140	395	73.9	25.5	3.8	0.0	6.7	6.7	92.6
Gaza	0	0	0.0	1.5	3.5	0.0	0.0	0.4	0.6
Iran	32134	290	267.4	37.0	3.5	0.0	10.6	10.6	114.9
Iraq *	24657	180	0.0	57.1	4.3	13.3	0.0	13.3	74.2
Israel	151	29	1.7	15.4	3.5	4.0	0.4	4.4	6.4
Jordan *	5884	38	0.0	5.7	3.8	1.5	0.0	1.5	2.5
Kuwait	1372	13	17.6	2.9	4.3	0.0	0.7	0.7	1.3
Lebanon	5	5	0.0	1.2	3.5	0.1	0.0	0.3	1.9
Libya	82714	25	132.3	9.9	3.5	0.0	2.8	2.8	6.2
Malta	0	0	0.0	0.3	3.5	0.0	0.0	0.1	0.2
Morocco	8428	110	14.8	29.9	3.5	5.3	3.3	8.5	26.1
Oman	14174	14	83.5	7.1	3.5	0.0	2.0	2.0	3.1
Qatar	555	8	43.2	1.8	4.3	0.0	0.4	0.4	0.6
Saudi Arabia	75832	135	152.4	101.7	4.3	0.0	23.7	23.7	37.2
Syria	8449	117	0.5	3.1	3.5	0.8	0.1	0.9	25.3
Tunisia	5673	34	48.7	9.2	3.5	0.0	2.6	2.6	6.5
UAE	447	40	14.9	10.3	4.3	0.0	2.4	2.4	3.3
West Bank	8	8	0.0	2.3	3.0	0.0	0.0	0.8	1.2
Yemen	8486	65	104.0	49.7	3.8	0.0	13.1	13.1	24.2
Total	462196	1630	964	380	3.9	27	69	98	442

Anhang 24: Kapitalausgaben und jährliche Wachstumsrate des Entsalzungsmarktes nach Ländern der MENA Region²⁹³



²⁹² vgl. Fichtner, 2011, Task 2 S.8-137

²⁹³ vgl. <http://de.slideshare.net/Visiongain/the-desalination-market-forecast-2014-2024>

Anhang 25: Für CPS Anlagen relevante Temperaturbereiche bei der Generierung von Prozesswärme für diverse Einsatzgebiete²⁹⁴

Industrial sector	Process	Temperature range (°C)
Food and beverages	Boiling	95 – 105
	Canning	60 – 120
	Drying	30 – 90
	Fish (salmon)	25 – 150
	Heat treatment	40 – 60
	Pasteurising	80 – 110
	Sterilising	140 – 150
	Sugar milling	60 – 105
	Tea/coffee	60 – 80
	Washing	20 – 46
	Wheat	40 – 80
Metal treatment (galvanising, anodising, and painting)	Cleaning	60 – 90
Textile industry	Bleaching	60 – 100
	Drying and degreasing	100 - 130
	Dyeing	100 – 160
	Fixing	160 – 180
	Pressing	80 – 100
	Washing	40 – 80
Chemical industry	Boiling	95 – 105
	Distilling	110 – 300
	Plastics	120 – 220
	Soap	200 – 260
	Synthetic rubber	150 – 200
Rubber industry	Vulcanisation	170
Timber	Paper	65 – 150
	Wood pulp	120 – 170
Mining	Smelting	1260 (out of scope)

²⁹⁴ vgl. Carbon Trust, 2013, S.13

7 Literaturverzeichnis

Allal, H. B.: *Combined solar power and desalination plants: Techno-economic potential in Mediterranean Partner Countries*, MED-CSD, 2010

Altran, Arthur D. Little: *Risk Quantification and Risk Management in Renewable Energy Projects*, IEA - Renewable Energy Technology Deployment, 2011

Anbari, F. T.: *Earned Value Project Management Method and Extensions*, Project Management Journal , S.12 - 23, 2003

Aquamarine Power: *Renewable Desalination Market Analysis: Oceania, South Africa, Middle East & North Africa*, Aquamarine Power, 2010

Aven, T.: *Quantitative Risk Assessment - The Scientific Platform*, Cambridge University Press, New York, 2010

Bea, F.; Scheurer, S.; Hesselmann, S.: *Projektmanagement*, Lucius & Lucius, Stuttgart, 2008

Busch, Th. A.; Grimscheid, G.: *Risikomanagement in Bauunternehmen - Projektrisikomanagement in der Angebotsphase*, Bauingenieur, S. 571 - 580, 2003

Carbon Trust: *Small-scale Concentrated Solar Power - A review of current activity and potential to accelerate deployment*, Carbon Trust, 2013

Corsten, H.; Corsten, H.; Gössinger, R.: *Projektmanagemet - Einführung*, Oldenburg Wissenschaftsverlag, München, 2008

CSP Today: *An Overview of CSP in Europe, North Africa and the Middle East* , CSP Today, 2008

Desertec industrial initiative: *Desert Power: Getting started - The manual for renewable electricity in MENA*, Desertec industrial initiative, 2013

Diniz de Souza, A.; Cavalcanti Rocha, A.: *A Proposal for the Improvement Predictability of Cost Using Earned Value Management and Quality Data*, Systems, Software and Services Process Improvement (S. 190 - 201), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, 2013

Dupire, B.: *Monte Carlo - Methodologies and Applications for Pricing and Risk Management*, Risk Books, London, 1998

Eber, W.; Tilke, C.; Zimmermann, J.: *Unsicherheiten bei der Realisierung von Bauprojekten - Grenzen einer wahrscheinlichkeitsbasierten Risikoanalyse*, Bauingenieur, S.272-282, 2014

El-Katiri, L.: *A Roadmap for Renewable Energy in the Middle East and North Africa*, Oxford Institute for Energy Studies, Oxford, 2014

Ernst & Young: *MENA Cleantech Survey*, Ernst & Young, 2013

European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling (RHC-Platform): *Strategic Research Priorities for Solar Thermal Technology*, RHC-Platform, Brüssel, 2012

Faninger, G.: *The potential of Solar Heat in the future energy system*, IFF - Universität Klagenfurt, Klagenfurt, 2010

Fichtner: *MENA Regional Water Outlook Part II Desalination Using Renewable Energy*, Fichtner, Stuttgart, 2010

Fiedler, R.: *Die Bedeutung des Risikomanagements für Projekte*, Projektcontroller, 2006

Frank, E.; Mauthner, F.; Fischer, S.: *Overheating prevention and stagnation handling in solar process heat applications*, IEA SHC Task 49/SolarPaces Annex IV, 2015

Frey, H.C.; Nießen, G.: *Monte Carlo Simulation- Quantitative Risikoanalyse für die Versicherungsindustrie*, Gerling Akademie Verlag, München, 2001

Goosen, M.; Mahmoudi, H.; Ghaffour N.; S. S. Sablani: *Application of Renewable Energies for Water Desalination* in Schorr, M.: *Desalination, Trends and Technologies*, S. 89 - 118, InTech, 2011

Hill, G.: *The Complete Project Management Methodology and Toolkit*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2010

International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank: *Use of Desalination and Renewable Energy to Close the Water Demand Gap in MENA*, The World Bank, Washington DC, 2012

International Energy Agency: *Technology Roadmap - Solar Heating and Cooling*, OECD/IEA, Paris, 2012

IRENA: *Renewable Energy in Manufacturing A technology roadmap for REmap 2030*, IRENA, 2014

IRENA; REN21; DECC: *MENA - Renewables Status Report*, REN21, 2013

ispy publishing: *PV and Solar Market Intelligence Report, Report 1 -2013*, ispy publishing, Bolton, 2013

- Kallerhoff, H.-J.:** *Risikomanagement bei dezentralen Energieprojekte,* Genossenschaftliche FinanzGruppe Volksbanken Raiffeisenbanken, Berlin, 2012
- Kaltschmitt, M.; Streicher, W.; Wiese, A.:** *Erneuerbare Energien,* Springer-Verlag, 2006
- Kanacher, J.; Rademacher, M.; Werners, B.:** *Risikosimulation als Teil des Projektcontrollings,* Controlling & Management Review - ehem, ZfCM , S.191 -198, 2010
- KEMA (The Netherlands):** *Modelling Risks of Renewable Energy Investments,* European Communities, Österreich, 2004
- King Abdulaziz City for Science and Technology:** *King Abdullah Initiative for Solar Water Desalination,*
http://kacstwatertech.org/eng/presentatoin/Day1/Session_1_1/Turki.pdf eingesehen am 19.03.2015
- Kolonko, M.:** *Stochastische Simulation - Grundlagen, Algorithmen und Anwendungen,* Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2008
- Mantel, S. J.; Meredith, J. R.; Shafer, S. M.; Sutton, M. M.:** *Project Management in Practice,* John Wiley and Sons, New York, 2001
- Marmel, E.:** *Microsoft Project 2007 Bible,* Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, 2007
- Medgenberg, J.; Nemuth, T.:** *Potential der Monte-Carlo-simulation für Risikoanalyse im Projektmanagement,* Tagungsband 1. Internationaler BBB-Kongress Dresden, S. 153 - 171), 2011
- Menze, S.:** *Projekt-Controlling mit Earned Value und Earned Schedule,* Controlling & Management Review, S. 68 - 76, 2013
- Messalem, R.; Kudish, A.; Ghermandi, A.; Hirsch, T.; Olwig, R.; Glade, H.; Schemeken, L.; Will, S.; Batayneh, S.; Alawneh, F.:** *Concentrating Solar Power & Desalination for Communities in Israel and Jordan (CSPD-COMISJO) – Final Technical Report,* Desalination and Water Treatment, 2012
- Moawad, A.:** *Future of Desalination in Egypt,*
http://www.arabwatercouncil.org/AWF/Downloads/Sessions/Topic2/P2-2-Ahmed_Future-of-Desalination-in-Egypt.pdf, eingesehen am 16.03.2015
- Moser, M.; Fichter, T.; Trieb, F.:** *Potential of Concentrating Solar Power Plants for the Combined Production of Water and Electricity in MENA Countries,* Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 2013

Mun, J.: *Modeling Risk*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2010

Observatoire Méditerranéen de l'Énergie: *Technical Study Report on Solar Heat for Industrial Processes (SHIP) - State of the art in the Mediterranean region*, 2010

OECD: *Renewable Energies in the Middle East and North Africa: Policies to Support Private Investment*, OECD Publishing, 2013

Palisade: *Monte Carlo-Simulation*,

http://www.palisade.com/risk/de/monte_carlo_simulation.asp, eingesehen am 13. 04 2015

Patzak, G.; Rattay, G.: *Projektmanagement - Leitfaden zum Management von Projekten, Projektportfolios, Programmen und projektorientierten Unternehmen*, Linde Verlag, 2009

Pinto, J. K.: *Project management: achieving competitive advantage*, Pearson Education, New Jersey, 2007

Project Management Institute: *Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, Project Management Institute, Inc., Newtown Square, 2008

Pruvost, H.; Schapke, S.-E.; Scherer, R.: *Multimodellbasiertes Risikomanagement*, Informationssysteme im Bauwesen 2, S. 2141 - 252, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014

Roushdy, T.: *Solar Energy Alternative and their Potential in the Arab World*, Tri-Ocean Carbon, 2008

Sander, P.; Spiegl, M.; Schneider, E.: *Probabilistische Kosten- und Risiko-Analyse für große Bauprojekte*, Technische Universität Graz, Graz, 2009

Sandoval-Wong, J. A. ; Schwarz, J.: *Entwicklung eines Projektmanagementsystems auf Basis von Entscheidungstheorien und Risikomanagement*, Tagungsband: 1. agenda4 Forschungssymposium der Baubetriebs- und Immobilienwissenschaften S 71 - 96, München: Technische Universität München, 2010

Schach, R.; Flemming, C.: *Grundlagen der Kostensimulation unter Einbeziehung von Risiken*, Informationssysteme im Bauwesen 2, S. 253 - 266, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014a

Schach, R.; Flemming, C.: *Kostensimulation aus Sicht des Auftragsnehmers*, Informationssysteme im Bauwesen 2, S. 279 - 288, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014b

- Schelle , H.:** *Operations Research and Projektmanagement : Kritischer Rückblick und Zukunftsperspektiven*, Internationales Kolloquium über Anwendungen der Informatik und Mathematik in Architektur und Bauwesen (IKM), Weimar, 1997
- Scherer, R. J.:** *Mefisto – Partnerschaftliche Nutzung von Multimodellinformationen zur Steuerung, Simulation und Führung von Bauprojekten*, http://www.mefisto-bau.de/pdf/k1_01.pdf, eingesehen am 18.03.2015
- Smith, N.:** *Managing Risk in Construction Projects*, Blackwell Science, Oxford, 1999
- Solabolic:** *Technology*, <http://www.solabolic.com/technology>, eingesehen am 16.03.2015
- Solar Heating Arab Mark and Certification Initiative:** *SHAMCI Network Members List*, http://www.shamci.net/wp-content/uploads/2013/08/SHAMCI-network-members_2013.pdf, eingesehen am 19.03.2015
- Solar Server:** *Konzentrierte solarthermische Energie: enorme Potenziale in der MENA-Region*, http://www.solarserver.com/solarmagazin/download/konzentrierte_solarthermische_energie_solar_report_1009.pdf, eingesehen am 16.03.2015
- So-Pro:** *WP5 – Second status reports on the regional pilot projects*, Intelligent Energy Europe, 2011a
- So-Pro:** *SoPro Project - Summary Screenings*, Intelligent Energy Europe, 2011b
- Strickmann, J.:** *Analysemethoden zur Bewertung von Entwicklungsprojekten*, GITO-Verlag, Berlin, 2008
- UNEP/ROWA:** *Current Status of Renewable Energies in the Middle East – North African Region*, Deutsches Bundesministerium für Umwelt, 2007
- United Nations Environment Programme:** *Regional Market Assessment Report in the Meditterrenian Countries*, United Nations Environment Programme, 2014
- United Nations Industrial Development Organization:** *Renewable Energy in Industrial Applications - An assessment of the 2050 potential*, 2010
- Vannoni, C.; Battisti, R.; Drigo, S.:** *Potential for Solar Heat in Industrial Processes*, CIEMAT, Madrid, 2008
- visiongain:** *The Desalination Market Forcast 2014 - 2024*, <http://de.slideshare.net/Visiongain/the-desalination-market-forecast-2014-2024>, eingesehen am 16.03.2015
- Vose, D.:** *Risk Analysis - A quantitative guide*, John Wiley & Sons, Chichester, 2008

Wyrozębski, P.; Wyrozębski, A.: *Challenges of project planning in the probabilistic approach using PERT, GERT and Monte Carlo*, Journal of Management and Marketing, 2013

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung einer Ende-Anfang-Beziehung.....	9
Abbildung 2: Darstellung einer Anfang-Anfang-Beziehung.....	9
Abbildung 3: Darstellung einer Anfang-Ende-Beziehung.....	9
Abbildung 4: Darstellung einer Ende-Ende-Beziehung.....	9
Abbildung 5: rot: symmetrische Dreiecksfunktion, blau: Dreiecksfunktion mit hoher Wahrscheinlichkeit für Werte über dem Höchstwahrscheinlichkeitswert, grün: Dreiecksfunktion mit hoher Wahrscheinlichkeit für Werte unter dem Höchstwahrscheinlichkeitswert.....	18
Abbildung 6: Neuentwicklung einer Parabolspiegelkonstruktion mit durch Stahlseile gespannter reflektierender Folie	22
Abbildung 7: Abweichungen von den anfänglichen Projekteinschätzungen zu konventionellen Energieanlagen im Verlauf von 20 Jahren; horizontale Linie bei 1 entspricht dem anfänglich ermittelten Erwartungswert, dunkelblau eingetragene Werte stammen von Projekten mit Risikomanagement	24
Abbildung 8: Einordnung der von Experten genannten Risiken nach Eigenkapitalrendite (ROE für Return on Equity) und Fremdverschuldungskapazität (rot: verzeichnete Risiken von Parabolspiegelkollektoren; gelb: Risiken von Parabolic Dish Kollektoren, die auch auf Parabolspiegel zutreffen)	27
Abbildung 9: Risikoportfolio mit Darstellung der Relevanz (rot: schwerwiegend, gelb: bedeutsam, weiß: gering) und dem Akzeptanzbereich.....	38
Abbildung 10: Grafische Earned Schedule Berechnung.....	45
Abbildung 11: Stakeholder des Solabolic Pilotanlagenprojekts	49
Abbildung 12: Projektstrukturplan des Pilotanlagenprojekts.....	52
Abbildung 13: Balkendiagramm des Projekts	59
Abbildung 14: Netzplan des Pilotanlagenprojekts.....	60
Abbildung 15: Kostenverteilung der personellen Ressourcen	67
Abbildung 16: Kostenverteilung der Arbeitspakete	69
Abbildung 17: Simulierte Gesamtkosten für das Pilotanlagenprojekt ohne Risikomaßnahmen.....	77
Abbildung 18: Durch Risiken entstehende simulierte Kosten für das Pilotanlagenprojekt ohne Risikomaßnahmen	77
Abbildung 19: Simulierte Auswirkung einzelner Arbeitspakete auf die Gesamtkosten für das Pilotanlagenprojekt ohne Risikomaßnahmen	78
Abbildung 20: Simulierte Gesamtdauer für das Pilotanlagenprojekt ohne Risikomaßnahmen.....	78
Abbildung 21: Durch Risiken entstehende simulierte Dauer für das Pilotanlagenprojekt ohne Risikomaßnahmen.....	79

Abbildung 22: Simulierte Auswirkung einzelner Arbeitspakete auf die Gesamtdauer für das Pilotanlagenprojekt ohne Risikomaßnahmen	79
Abbildung 23: Simulierte Projektgesamtkosten unter Einbeziehung von Risikomaßnahmen.....	80
Abbildung 24: Durch Risiken entstehende simulierte Kosten unter Einbeziehung von Risikomaßnahmen.....	80
Abbildung 25: Simulierte Auswirkung einzelner Arbeitspakete auf die Projektgesamtkosten unter Einbeziehung von Risikomaßnahmen.....	81
Abbildung 26: Simulierte Projektgesamtdauer unter Einbeziehung von Risikomaßnahmen.....	81
Abbildung 27: Durch Risiken entstehende simulierte zusätzliche Dauer in Tagen unter Einbeziehung von Risikomaßnahmen	82
Abbildung 28: Simulierte Auswirkung einzelner Arbeitspakete auf die Projektgesamtdauer unter Einbeziehung von Risikomaßnahmen	82
Abbildung 29: Regionale Energieintensität auf Basis der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten zwischen 1985-2010.....	86
Abbildung 30: Regionaler Energieverbrauch auf Basis der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten zwischen 1971-2010.....	86
Abbildung 31: Überblick über die weltweite solare Direktnormalstrahlung, rote bis dunkelrote Bereiche weisen eine sehr hohe Direktnormalstrahlung auf	87
Abbildung 32: Karte zur Darstellung der durchschnittlichen solaren Direktnormalstrahlung von Afrika und dem Mittleren Osten	87
Abbildung 33: Länder der MENA Region gelistet nach deren Attraktivität für erneuerbare Energien in der 5-Jahresvorschau	92
Abbildung 34: CSP Projektstatus weltweit.....	93
Abbildung 35: Preisvergleich verschiedener MENA Länder nach Energieabnehmern: Privatsektor, Gewerbe und Industrie	95
Abbildung 36: Für 2040-2050 erwarteter Wasserengpass nach Land in km ³ pro Jahr, blaue Balken weisen auf vorhandene Wasserreserven hin, rote auf Wasserengpässe	97
Abbildung 37: Salzgehalt und Temperatur nach Region	99
Abbildung 38: Windgeschwindigkeit in MENA im Jahresdurchschnitt 80m über dem Boden.....	101
Abbildung 39: Verfügbare Leistung nach Anlagenart mit gelb für die jeweilige Anlagen-eigenproduktion und violett für Back-up Leistung durch fossile Energieträger (A : CSP, B: PV, C: Wind).....	102
Abbildung 40: verschiedene Anlagenschaltpläne für den Einsatz von CSP-Anlagen als Energiequelle	103
Abbildung 41: Levelierte Wasserkosten in US-Dollar pro Kubikmeter für RO und MED in den Regionen Mittelmeer, Rotes Meer und Arabischer Golf.....	104

Abbildung 42: Für CSP-Anwendungen zur Verfügung stehende Landflächen (weiß) bzw. wegen Ausschlusskriterien exkludiertes Land (gelb: Naturschutzgebiet, grau: topographische Gründe, grün: Oberflächenkriterien, hellblau: hydrographische Gründe, beige: geomorphologische Gründe, dunkelblau: Infrakstrukturbehinderung, hellrot: zu hohe Bevölkerungsdichte, dunkelrot: Städte, mittelblau: Wasser)	106
Abbildung 43: Bestehende Hybrid-Solarentsalzungsanlagen	109
Abbildung 44: Stromgestehungskosten nach Technologievariante	110
Abbildung 46: Prognosen für die Produktion von entsalztem Wasser im Mittleren Osten	113
Abbildung 47: Prognosen für die Produktion von entsalztem Wasser in Nord Afrika	113
Abbildung 48: Prozesstemperaturbereich nach Industriezweig gemäß ECOHEATCOOL	114
Abbildung 49: Prozesstemperaturbereich nach Industriezweig gemäß POSHIP	114
Abbildung 50: Wirtschaftlich realisierbare Potentiale erneuerbarer Energien im Ländervergleich	117
Abbildung 51: Anzahl der für solare industrielle Prozesswärme installierten Anlagen nach Industriezweig und Region.....	120

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schwierigkeitsgrad bei der Risikobeurteilung von solarthermischen Anlagen	26
Tabelle 2: Beispiel einer Risikotabelle zur Aggregation der nötigen Simulationsdaten	36
Tabelle 3: Einfluss der Stakeholder	50
Tabelle 4: Beschreibung der einzelnen Arbeitspakete des Solabolic Pilotanlagenprojekts	53
Tabelle 5: Personeller Ressourceneinsatz	61
Tabelle 6: Geforderte zeitliche personelle Ressourcenverfügbarkeit.....	64
Tabelle 7: Materialressourceneinsatz	64
Tabelle 8: Geforderte zeitliche Materialressourcenverfügbarkeit.....	65
Tabelle 9: Personelle Ressourcenkosten	66
Tabelle 10: Materielle Ressourcenkosten.....	67
Tabelle 11: Kosten der einzelnen Arbeitspakete	68
Tabelle 12: Identifizierte Risiken für den Bau der Solabolic Pilotanlage	70
Tabelle 13: Kritischer Index und entscheidende Wichtigkeit der Arbeitspakete.....	83
Tabelle 14: Überblick über den solarthermischen Markt in MENA.....	91
Tabelle 15: Charakteristika erneuerbarer Energien	100
Tabelle 16: Installierte Kollektorfläche am Beispiel von zehn MENA-Ländern – allgemein überwiegen hierbei häusliche solare Anwendungen	116

10 Abkürzungsverzeichnis

AC	tatsächliche Kosten, Englisch: actual costs
AMISOLE	Association Marocaine des Industries Solares et Eoliennes
AT	Zeitpunkt der Ermittlung, Englisch: actual time
BAC	ursprünglich geplanten Gesamtkosten, Englisch: Budget at Completion
BBN	Bayesian Belief Networks
BCM	Einheit: Milliarde Kubikmeter, Englisch: billion cubic meters
BCWS	Budgetkosten der erledigten Arbeit, Englisch: Budgeted Cost of Work Scheduled
BDD	Binary Digit Diagramm
CDM	Clean Development Mechanism
CLFC	Compact Linear Fresnel Kollektoren
CPC	Compound Parabolic Konzentrator
CPI	Kostenleistungsindex, Englisch: cost performance index
CR	kritische Kennzahl, Englisch: critical ratio
CSI	Kosten_Terminplan-Index, Englisch: cost schedule index
CSNER	Chambre Syndicale Nationale des Energies Renouveables
CSP	konzentrierenden Solarkollektoren
CV	Kostenvarianz, Englisch: cost variance
CVP	Kostenvarianzprozentsatz, Englisch: cost variance percent
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DNI	Direktnormalstrahlung
D&O	Directors and Officers
EAC	erwarteten Gesamtkosten zum aktuellen Zeitpunkt, Englisch: estimate at aompletion
ECX	erwartete Restzusatzkosten, Englisch: Extra Cost Estimate to Complete
ES	Earned Schedule
ESM	Earned Schedule Methode
ETC	erwarteten Restkosten zum aktuellen Zeitpunkt, Englisch: estimate to completion
EV	Earned Value
EVA	Earned-Value-Analyse
GERT	Graphical Evaluation and Review Technique
IEA	International Energy Agency
IRENA	International Renewable Energy Agency
LASI	Lebanese Association of Solar Industrialists
MED	Multi-Effect-Distillation
MENA	Mittlerer Osten und Nordafrika
MSF	Multistage-Flash-Distillation
NÖEL	nettoenergieexportierende Länder
NÖIL	nettoenergieimportierende Länder

NREA	New and Renewable Energy Authority
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
OSP	Objektstrukturplan
PD	geplanten Dauer, Englisch: planned duration
PDM	Precedence Diagramming Method
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PSP	Projektstrukturplan
PTC	Parabolic Through Kollektoren
PV	Photovoltaik
PV	bugetierter Wert, Englisch: planned value
REAI	Renewable Energy Association of Israel
RO	Reverse Osmosis
ROE	Eigenkapitalrendite, Englisch: return on equity
SAC	ursprünglich geplante Gesamtdauer des Projekts, Englisch: schedule at completion
SEDA	Solar Energy Development Association
SHAMCI	Global Solar Water Heating Market Transformation and Strengthening Initiative
SPI	Terminplanleistungsindex, Englisch: schedule performance index
SV	Terminplanvarianz, Englisch: schedule variance
SVP	Terminplanvarianzprozentsatz, Englisch: schedule variance percent
TV	Zeitvarianz, Englisch: time variance
UNFCCC	Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen
WBS	Work Breakdown Structure
Einheiten	
°C	Grad Celsius
bar	Bar
EJ	Exajoule
GW	Gigawatt
kW	Kilowatt
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
ppm	Partikle pro Million (im Referenzfall: Reinheitsangabe des Wassers)
W	Watt