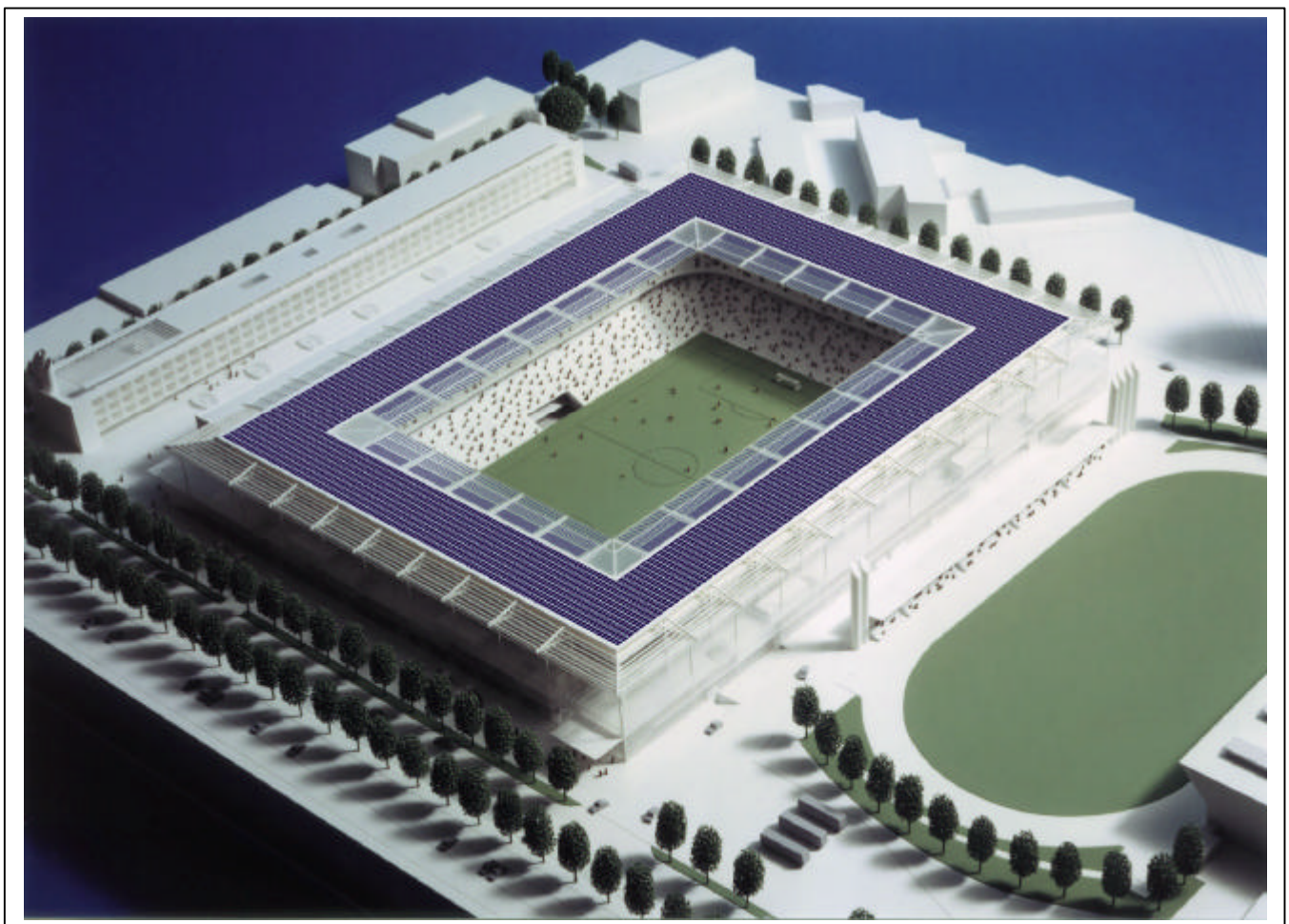


Schlussbericht PV P+D, DIS 38'268 / 78'044, April 2002

Machbarkeitsstudie Photovoltaik-Anlage Stadion Wankdorf

ausgearbeitet durch:
Th. Hostettler
Ingenieurbüro Hostettler
Hochfeldstrasse 113, 3012 Bern



(© Greenpeace)

Zusammenfassung

In den nächsten Jahren sollen in der Schweiz einige der grösseren Sportstadien neu gebaut werden, so unter anderem das Wankdorfstadion in Bern, das Hardturmstadion in Zürich, das Espenmoosstadion in St. Gallen und andere mehr. Allen Projekten ist gemeinsam, dass sie einerseits nur mit wirtschaftlich interessanten Nebennutzungen wie Einkaufszentren, Büroflächen, etc. realisiert werden können und andererseits über riesige Dachflächen verfügen, die zur solaren Energiegewinnung einladen.

Photovoltaik-Anlagen haben sich in den letzten Jahren als sehr zuverlässig erwiesen und wurden besonders im Rahmen von Solar- oder Ökostrombörsen auf der Basis von mono- oder polykristallinem Silizium realisiert. Die Regeln für die Planung von grossen Anlagen sind ebenso bekannt, wie die fachgerechte Integration in die Gebäudehülle. Was bisher fehlte, ist die Realisierung von grossen Anlagen auf der Basis von Dünnschichtzellen (u.a. amorphes Silizium).

Glücklicherweise konnten nach frühen Kontaktaufnahmen der Autoren mit dem Bauherrn des Wankdorfstadionserreicht werden, dass die Architekten für die solare Nutzung grosszügig Flächen ausschieden. Mehr als 11'500 m² konnten als Grundfläche für eine mechanische und elektrische Grobdimensionierung definiert werden.

Mit dieser Machbarkeitsstudie, die vom Bundesamt für Energie BFE, der ADEV Solarstrom AG, dem Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern WEA und dem Ingenieurbüro Hostettler finanziert wurde, sollen vor allem die folgenden Ziele erreicht werden:

- Abklärung der Machbarkeit grosser PV-Anlagen mit amorphem Silizium (a-Si)
- Anschubhilfe für die Vertragsverhandlungen zwischen Investor, Energieverkäufer und Bauherrschaft
- Erfahrungsgewinn für das Up-Sizing von Anlagen mit Dünnschichttechnologien
- Demonstrationswirkung der neuen Technologien an prominenter Stelle

Erfreulicherweise konnte mit diesen Arbeiten gezeigt werden, dass eine Erstellung von grossen Photovoltaik-Anlagen auf der Basis von Dünnschichtzellen in einem breiten Spektrum möglich und heute wirtschaftlich realisierbar ist. Für vier verschiedene Produkte auf der Basis von amorphem Silizium (eines davon kombiniert mit mikrokristallinem Silizium) wurde eine mechanische und eine elektrische Grobdimensionierung vorgenommen. Als Vergleich wurde eine Referenzvariante auf der Basis von monokristallinem Silizium gegenübergestellt.

Die wichtigsten Grössen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Nr.	Variante	Technologie	Installierte Leistung [kWp]	Ertrag [MWh/a]	Kosten [kFr.]	Strom-Preis [Fr./kWh]
1	REFERENZ	c-Si (mono)	1'220	1'073	16'300	1,40
2	MILLENIA	a-Si (Tandem)	510	454	6'600	1,40
3	MODULVERBUND	a-Si (Tandem)	460	411	9'500	2,20
4	SCHINDEL	a-Si (Triple)	570	514	9'500	1,75
5	MIKROMORPH	a-Si / μ c-Si (hybrid)	830	748	13'400	1,65

Alle Angaben basieren auf Richtpreisen und enthalten weder Mehrwertsteuer noch Förderbeiträge.

Offene Fragen stellen sich noch in zwei Bereichen. Es handelt sich dabei einerseits um das Temperaturverhalten im Flügelprofil, das aufgrund der bisherigen Untersuchungen erst unbefriedigend erklärt werden kann und andererseits um das elektrische Verhalten von Dünnschichtzellen im Rückwärtsbetrieb. Diese Fragen können aber im Rahmen der Detailprojektierung gelöst werden.

Mit den erarbeiteten Grundlagen kann nun wieder das Gespräch mit Investor, Energieverkäufer und Bauherr gesucht werden. Diese Abklärungen können als Basis für Vorverträge im Bereich Energieabnahme und Dachnutzung dienen. Einer Realisierung käme eine grosse Signalwirkung zu, weil damit eindrucksvoll gezeigt werden kann, dass Photovoltaik-Anlagen auf der Basis von Dünnschichtzellen heute realisierbar sind.

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Abstract

The sizing of large photovoltaic installations ($P > 100$ kWp), based on crystalline silicon, is well-known today. The rules for a good integration into the skin of the buildings are also well-known and used successfully. In one field however, experience is still not available:

The electrical and mechanical sizing of large PV installations based on Thin-Film-Cells, for example amorphous silicon or CIS (Copper-Indium-Diselenide).

In the next years, a number of football stadiums will be newly built in Switzerland. All these buildings include large roof areas which could be used for PV-generated energy. This is a great opportunity to gain such experience.

The goals of this feasibility study are as follows:

- Clarification of the feasibility of large PV installations based on amorphous silicon
- Decision base for negotiations with investor, energy-distributor and building-owner
- Building of experience by Up-Sizing PV installations based on Thin-Film-Cells
- Demonstration of this new technologies to many people

The next table shows the results of the electrical and mechanical dimensioning for 5 different options:

Nr.	Variant	Technology	Installed power [kWp]	Yield [MWh/a]	Costs [kFr.]	Energy-Price [Fr./kWh]
1	REFERENCE	c-Si (mono)	1'220	1'073	16'300	1,40
2	MILLENIA	a-Si (Tandem)	510	454	6'600	1,40
3	MODULVERBUND	a-Si (Tandem)	460	411	9'500	2,20
4	SCHINDEL	a-Si (Triple)	570	514	9'500	1,75
5	MIKROMORPH	a-Si / μ c-Si (hybrid)	830	748	13'400	1,65

Two questions are still open at the moment: One of them is the behavior of the temperature in the wing-profile, the other is the electrical behavior of the Thin-Film-Cells in reverse current. These questions will be answered in the detailed project planning.

With the results of this feasibility study the discussions with Investor, Energy-distributor and Building-owner can start with a new round to reach contracts for the sale of energy and the use of the roof. To realize a large PV-installation with Thin-Film-Cells would be a signal, that could demonstrate the large potential of this kind of technology.

This feasibility-study was co-financed by the Swiss Federal Office of Energy, the ADEV Solarstrom AG, the Federal State of Bern Office of Water and Energy and the company Ingenieurbüro Hostettler.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Abstract.....	3
Inhaltsverzeichnis	4
1. Ausgangslage.....	5
1.1. Neubauten von Sportstadien.....	5
1.2. Stand der Technik	5
1.3. Das Projekt im Speziellen	5
2. Ziel der Arbeit	6
2.1. Ziele im Zusammenhang des Einsatzes von Dünnschichtzellen	6
2.2. Ziele im Zusammenhang von Vertragsgrundlagen und Investitionsverhalten	6
3. Hauptergebnisse.....	7
3.1. Elektrische Kennwerte	7
3.2. Mechanische Kennwerte.....	7
4. Noch offene Probleme	8
4.1. Temperaturerhöhung im Flügelprofil	8
4.2. Elektrisches Verhalten im Rückwärtsbetrieb.....	8
5. Darstellung der Lösung der Teilaufgaben.....	9
5.1. Evaluation	10
5.1.1. Variante REFERENZ	11
5.1.2. Variante MILLENIA.....	11
5.1.3. Variante MODULVERBUND	11
5.1.4. Variante SCHINDEL	11
5.1.5. Variante MIKROMORPH.....	11
5.1.6. Hersteller von CIS.....	12
5.2. Elektrische Konzeption	12
5.2.1. Elektrische Grobdimensionierung.....	12
5.2.2. Blitzschutz	13
5.2.3. Thermisches Verhalten	13
5.2.4. Elektrisches Verhalten	13
5.2.5. Ertragsprognosen	14
5.3. Mechanische Konzeption.....	14
5.3.1. Architektonische Einbindung	15
5.3.2. Einbaumöglichkeiten.....	15
5.3.3. Sicherheitsaspekte.....	16
5.3.4. Wartungskonzept.....	16
5.4. Projektabwicklung.....	16
5.4.2. Qualitätssicherung	17
5.4.3. Contracting und Rechtliches	17
5.5. Wirtschaftlichkeit.....	18
5.5.1. Finanzdaten.....	18
Variante.....	18
Variante.....	19
5.5.2. Planrechnung	19
5.5.3. Controllingkonzept.....	19
6. Perspektiven.....	20
6.1. Perspektiven für das Projekt	20
6.2. Perspektiven für die Photovoltaik	20
7. Adress- und Literaturverzeichnis.....	21
7.1. Adressverzeichnis von beteiligten Firmen und Institutionen	21
7.2. Publikationen, Gesetze und Verordnungen	22
8. Anhang.....	22
Visualisierungen des Wettbewerbsprojekts W-Dream	23

1. Ausgangslage

Die Ausgangslage soll anhand von 3 verschiedenen Ebenen beleuchtet werden. Dies beinhaltet Betrachtungen in Bezug auf die Bautechnik, auf den Stand der Photovoltaikentwicklung und auf das Beispielprojekt.

1.1. Neubauten von Sportstadien

In den nächsten Jahren sollen in der Schweiz einige der grösseren Sportstadien neu gebaut werden, so unter anderem das Wankdorfstadion in Bern, das Hardturmstadion in Zürich, das Espenmoosstadion in St. Gallen und andere mehr. Diese Stadien sind meist schon etwas in die Jahre gekommen und genügen den heutigen Anforderungen an die Sicherheit nur noch teilweise.

Allen Neubauten ist gemeinsam, dass es Gebäude mit riesigen Dachflächen geben wird, wo sich eine Nutzung der Sonnenenergie geradezu aufdrängt. Ausserdem lassen sich heutzutage reine Fussballstadien ohne Nebennutzungen gar nicht mehr verwirklichen. Das bedeutet aber auch, dass überall weitere Nutzungen geplant sind, die mehr oder weniger energieintensiv sein werden.

1.2 Stand der Technik

In den letzten Jahren beschleunigten vor allem zwei Faktoren die Entwicklung der Photovoltaik-Anwendungen: Der eine Faktor ist „hausgemacht“ in Form der erfolgreichen Vermarktung von umweltfreundlicher Energie an den Solarstrombörsen. Die für den Anfang schon recht beachtliche Menge (Installierte Leistung aller schweizerischen Börsen um 6 MWp Ende 2001) verbunden mit einem unerbittlichen Preiskampf förderte vor allem die Perfektionierung von Anlagen, die mittels Sockeln auf Flachdächern schnell und kostengünstig erstellt werden können. Der andere Faktor findet vor allem in Form von ehrgeizigen Programmen in Deutschland (100'000 Dächer-Programm und Einspeisevergütung von 94 Pfennig, respektive 48,06 Euro Cents pro kWh für das laufende Jahr) und Japan (70'000 Dächer-Programm) statt, die einen grossen Teil der weltweiten Produktion an kristallinem Silizium absorbiert.

Andererseits sind für die kristalline Technik sowohl der Bau von grösseren Anlagen mit einer Leistung von mehreren 100 kWp gut bekannt und bereits vielfach erprobt, wie zum Beispiel die 1 MWp Anlagen auf der Messe München oder auf der Wissenschaftsakademie Mt. Cenis in Herne (Beides Deutschland) eindrücklich zeigen. Ebenso sind die Regeln für eine gute Integration in die Gebäudehülle gut abgesichert und werden an unzähligen Objekten mit Erfolg angewendet.

Was in diesem Bereich fehlt, ist insbesondere die Weiterentwicklung im Bereich der Dünnschichtmaterialien, da auf dem Markt bereits einige namhafte Firmen mit Produkten vertreten sind. Ebenso sind erst wenige Erfahrungen im Bereich der grösseren Anlagen gemacht worden. Die grösste PV-Anlage mit amorphen Siliziumzellen befindet sich derzeit in Berlin mit einer Fläche von gut 3'200 m², was eine Leistung von rund 132 kWp ergibt.

1.3 Das Projekt im Speziellen

Die fast gleichzeitige Bekanntgabe der Lancierung einer Ökostrombörse für die Stadt Bern und die Bekanntgabe eines Architekturwettbewerbs für den Neubau des Fussballstadions Wankdorf bewogen das Ingenieurbüro Hostettler [A1] schon 1997 dazu, mit dem Generalunternehmer für den Neubau, der Firma Marazzi AG [A2] Kontakt aufzunehmen, um die Möglichkeiten der photovoltaischen Nutzung der Dächer frühzeitig zu diskutieren und einzubeziehen. Aufgrund der erfolgten Gespräche wurde die Phase der Projektüberarbeitung als günstiger Zeitpunkt für die Diskussion bezeichnet.

Für eine detailliertere Abklärung der Machbarkeit initiierte das Ingenieurbüro Hostettler die vorliegende Machbarkeitsstudie. Die Finanzierung erfolgte durch das Bundesamt für Energie, BFE [A3], den potentiellen Investor, die ADEV Solarstrom AG [A4] und das Ingenieurbüro Hostettler. Einzelne Teilbereiche der Machbarkeit wurden durch INES, Ingenieurbüro für nachhaltige Energiesysteme [A5] und SolArte, Ingenieurbüro Stucki [A6] erarbeitet.

Während der Projektüberarbeitung nahmen die Autoren Kontakt mit den Architekten [A7, A8, A9] auf und konnten damit erreichen, dass für die Nutzung von Sonnenenergie ein Bereich ausgeschieden wurde. Die Fläche dieses Bereichs beträgt gut 11'500 m² und erstreckt sich über alle vier Dachseiten (Siehe Plan im Anhang 8).

Unabhängig davon lancierte die Umweltorganisation Greenpeace [A10] im Frühling 2000 die Idee, dass alle zukünftigen Schweizer Sportstadien mit PV-Anlagen ausgerüstet werden sollen. In einer Potentialstudie [B1] schätzten sie die Möglichkeiten für die beiden Stadien St. Jakob in Basel und Wankdorf in Bern etwas genauer ab.

Eine kurze Beschreibung der Projekteigenschaften findet sich im Kapitel 5, vor der Ziffer 5.1.

2. Ziel der Arbeit

In ersten Absichtserklärungen zeigten alle Beteiligten Parteien (Investor, Energieverkäufer [A11] und Bauherr) Interesse am Bau einer PV-Anlage, nicht ohne gewisse Vorbehalte verschiedenster Art zu machen. Um für eine vertiefte Diskussion genauere Angaben einer möglichen Photovoltaik-Anlage zu erhalten, initiierte das Ingenieurbüro Hostettler die vorliegende Machbarkeitsstudie. Die guten Erfahrungen (siehe auch [B2]) mit amorphem Silizium beim Bau der integrierten Anlage auf dem Dach des Institut der Microtechnique [A12] in Neuenburg (Im Jahr 1996 in Betrieb genommen, war die Anlage mit einer Fläche von gut 125 m² und einer Leistung von rund 6,4 kWp die grösste integrierte Anlage ihrer Art) bewogen uns dazu, auch hier Dünnschichtzellen vorzusehen.

Daraus ergeben sich als Hauptziele der Arbeit:

- Abklärung der Machbarkeit grosser PV-Anlagen mit amorphem Silizium (a-Si)
- Anschubhilfe für die Vertragsverhandlungen zwischen Investor, Energieverkäufer und Bauherrschaft
- Erfahrungsgewinn für das Up-Sizing von Anlagen mit Dünnschichttechnologien
- Demonstrationswirkung der neuen Technologien an prominenter Stelle

Diese Ziele lassen sich in zwei Gebiete aufteilen, die einerseits spezifische Fragen in der Konstellation Wankdorfstadion und Einsatz von Dünnschichtzellen und andererseits allgemeinere Fragen in den Bereichen Vertragsgrundlagen und Abwicklung betreffen.

2.1 Ziele im Zusammenhang des Einsatzes von Dünnschichtzellen

Wie unter Ziffer 1.2, Stand der Technik erwähnt, fehlen Erfahrungen für das Up-Sizing von Anlagen mit Dünnschichtzellen weitgehend. Deshalb sollen neben den ganzen elektrischen und mechanischen Dimensionierungen auch die Bereiche Qualitätssicherung und Projektmanagement mitberücksichtigt werden.

Im einzelnen sollen vor allem folgende Fragen beantwortet werden:

- Evaluation der in Frage kommenden Produkte
- Evaluation der in Frage kommenden Hersteller
- Welches Konzept wird der elektrischen Dimensionierung zugrunde gelegt?
- Welches Konzept wird der mechanischen Dimensionierung zugrunde gelegt?
- Wie kann die architektonische Einbindung gewährleistet werden?
- Welche Sicherheitsaspekte müssen berücksichtigt werden?
- Wie können die Anliegen des Blitzschutzes berücksichtigt werden?
- Wieviel Ertrag lässt sich mit einer solchen Anlage erzielen?
- Wie wird die Wartung einer solchen Anlage sichergestellt werden?
- Wie muss eine optimale Qualitätssicherung aufgebaut sein?
- Welche Fristen müssen eingehalten werden, damit sich die Realisierung nicht verzögert?

Die Antworten zu den obengenannten Fragen bilden zudem die Grundlage, um vertiefte Gespräche mit Investor, Energieverkäufern und Bauherrschaft zu führen.

2.2 Ziele im Zusammenhang von Vertragsgrundlagen und Investitionsverhalten

Nebst dem konkreten Fall Projekt Wankdorf sind eine Reihe von Fragen von allgemeinem Interesse, da sie im Zusammenhang mit der Realisierung von Produktionsanlagen für Solarstrombörsen immer wieder auftauchen. Deshalb werden im Teil Projektabwicklung die folgenden Fragestellungen untersucht:

- Vertragsgrundlagen für PV-Anlagen inkl. WR und Verkabelung auf fremdem Grund
- Vertragsgrundlagen für Investoren mit Stromabnehmern
- Vertragsgrundlagen für den Unterhalt der Anlage (z.B. Reinigung, Schadensregelung, etc.)
- Vergütung des Gebäudebesitzers an den Investor für den Dachersatz
- Einfluss der „neuen“ Technologien mit Dünnschichtzellen auf die Investitionsbereitschaft

3. Hauptergebnisse

Die vorliegende Arbeit umfasst detaillierte Abklärungen zur Machbarkeit von PV-Anlagen auf der Basis von Dünnschichtzellen, wie sie auf dem Neubau des Fussballstadions Wankdorf realisiert werden könnten. Dabei wurden eine Reihe von Fragestellungen untersucht und weitgehend beantwortet.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass beim heutigen Stand der Technik Dünnschichtzellen als marktreif und einsetzbar bezeichnet werden können. Anhand von vier unterschiedlichen Produkten wurde eine elektrische und mechanische Grobdimensionierung durchgeführt und die Investitionen für die Realisierung auf der Basis von Richtpreisen zusammengetragen. Für die ganze Realisierung wurde ausserdem ein Zeitplan und Konzepte zur Qualitätssicherung und Controlling erarbeitet.

Ein wichtiges Ziel der Arbeiten bestand darin, Erfahrungen für das Up-Sizing von PV-Anlagen mit Dünnschichttechnik zu gewinnen. Dieses Ziel konnte vollumfänglich erreicht werden, indem die Bereiche mit unterschiedlichen und diejenigen mit gleichen Vorgehensweisen (wie bei Anlagen auf kristalliner Basis) identifiziert werden konnten.

In den folgenden drei Tabellen sind die wichtigsten elektrischen, mechanischen und finanziellen Eckwerte zusammengefasst.

3.1 Elektrische Kennwerte

Nr.	Variante	Technologie	Installierte Leistung [kWp]	Ertrag [MWh/a]	Spezifischer Ertrag [kWh/kWp]
1	REFERENZ	c-Si (mono)	1'220	1'073	880
2	MILLENNIA	a-Si (Tandem)	510	454	891
3	MODULVERBUND	a-Si (Tandem)	460	411	895
4	SCHINDEL	a-Si (Triple)	570	514	901
5	MIKROMORPH	a-Si / μ c-Si (hybrid)	830	748	902

Die Variante 1 dient als Bezugsgrösse, damit die Resultate der Untersuchungen schnell eingeordnet werden können. Es fällt auf, dass die mit Dünnschichtzellen erzielbaren installierten Leistungen schon recht hoch sind. Im vorliegenden Fall liegt das Schwergewicht ja nicht auf der möglichst effizienten Nutzung des letzten verfügbaren Quadratmeters, sondern in einem optimalen Verhältnis von Leistung gegenüber Energieertrag. Aufgrund der offenen Fragen (siehe Kapitel 4.1, Temperaturerhöhung im Flügelprofil) wurden die Ertragswerte sehr vorsichtig abgeschätzt. Die Erfahrungen von anderen Anlagen (IMT Neuenburg, Flumroc Walenstadt) deuten darauf hin, dass diese Werte höher liegen dürften.

3.2 Mechanische Kennwerte

Nr.	Variante	Technologie	Verwendetes Integrationssystem
1	REFERENZ	c-Si (mono)	Pfosten- / Riegelsystem (Riegel ersetzt durch Fugenband)
2	MILLENNIA	a-Si (Tandem)	Solrif (Konterlattung in Stahl / Ziegellattung in Holz)
3	MODULVERBUND	a-Si (Tandem)	Pfosten- / Riegelsystem (Riegel ersetzt durch Fugenband)
4	SCHINDEL	a-Si (Triple)	Metallfalzdach (vorgefertigte Stahlschindeln)
5	MIKROMORPH	a-Si / μ c-Si (hybrid)	Solrif (Konterlattung in Stahl / Ziegellattung in Holz)

Die Varianten 1 und 3 basieren auf kundenspezifischen Laminaten, die anderen Varianten verwenden Standardprodukte, respektive –grössen. Bei allen Varianten wurde die von den Architekten vorgesehene Unterkonstruktion mit den Fachwerkträgern, ergänzt mit den Querträgern im Abstand von 2 Metern als bauseitige Basis zugrunde gelegt. Darauf bauten die unterschiedlichen Integrationssysteme auf.

3.3 Finanzielle Kennwerte

Nr.	Variante	Installierte Leistung [kWp]	Investitionen [kFr.]	Spezifische Kosten [Fr. / Wp]	Gestehungs-Kosten [Fr. / kWh]
1	REFERENZ	1'220	16'300	13,35	1,40
2	MILLENIA	510	6'600	12,95	1,40
3	MODULVERBUND	460	9'500	20,65	2,20
4	SCHINDEL	570	9'500	16,65	1,75
5	MIKROMORPH	830	13'400	16,15	1,65

Die Kosten liegen im erwarteten Rahmen für die verschiedenen Varianten. Es besteht jedoch überall noch ein Reduktionspotential, da ausdrücklich nur Richtpreise und keine „Kampfpriese“ verlangt waren. Alle Investitionen sind inklusive Unvorhergesehenes, jedoch ohne Teuerung, Mehrwertsteuer und Förderbeiträgen berechnet. Die Gestehungskosten basieren auf einer Abschreibungsdauer von 20 Jahren bei einem Zinssatz von 4,8 %.

4. Noch offene Probleme

Für die Detailprojektierung bleiben vor allem zwei Punkte offen, die in jedem Fall eingehender untersucht werden müssen. Diese Punkte stellen jedoch das erfolgreiche Realisieren einer integrierten PV-Anlage keineswegs in Frage. Es handelt sich dabei um folgende Themen:

- Temperaturerhöhung im Flügelprofil
- Elektrisches Verhalten von Dünnschichtzellen im Rückwärtsbetrieb

4.1 Temperaturerhöhung im Flügelprofil

Einerseits muss die bisherige Datenbasis der Meteonormpublikation [B3] von Anfang der 90-er Jahre kritisch hinterfragt werden. Dort wurden Temperaturerhöhungen für ein freistehendes Modul mit 45° Neigung für die drei Standorte Kloten, Davos und Lugano publiziert.

Andererseits muss mit vertieften Simulationen eine möglichst realistische Temperaturerhöhung eruiert werden. Da bei Anlagen mit Dünnschichtzellen der Temperaturkoeffizient generell tiefer liegt, wird der Einfluss auf den Energieertrag gedämpft. Dazu dürfte es sinnvoll sein, mit den Autoren sowohl der Meteonorm-Publikation, als auch mit den Autoren von Programmen wie PVSYST [B4] die Randbedingungen zu diskutieren und in die Ertragsberechnungen einfließen zu lassen.

4.2 Elektrisches Verhalten im Rückwärtsbetrieb

Wie im Kapitel 5.2.4 ausgeführt, sind diese Angaben auch bei kristallinem Material nicht selbstverständlich. Für die Detailprojektierung dürfte es hilfreich sein, mit den zwei, drei in Frage kommenden Herstellern gewisse Messungen unter gleichen Bedingungen vorzunehmen, damit die benötigten Informationen gewonnen werden können.

Allenfalls wäre dies auch eine Aufgabe, die an einer anerkannten Prüfinstitution oder einer Fachhochschule vorgenommen werden kann.

5. Darstellung der Lösung der Teilaufgaben

Vor der ausführlichen Beschreibung der einzelnen Teilaufgaben werden hier einige allgemeine Angaben zum Projekt, zur Darstellung der Struktur und zu den untersuchten Varianten gemacht.

Kurze Projektbeschreibung

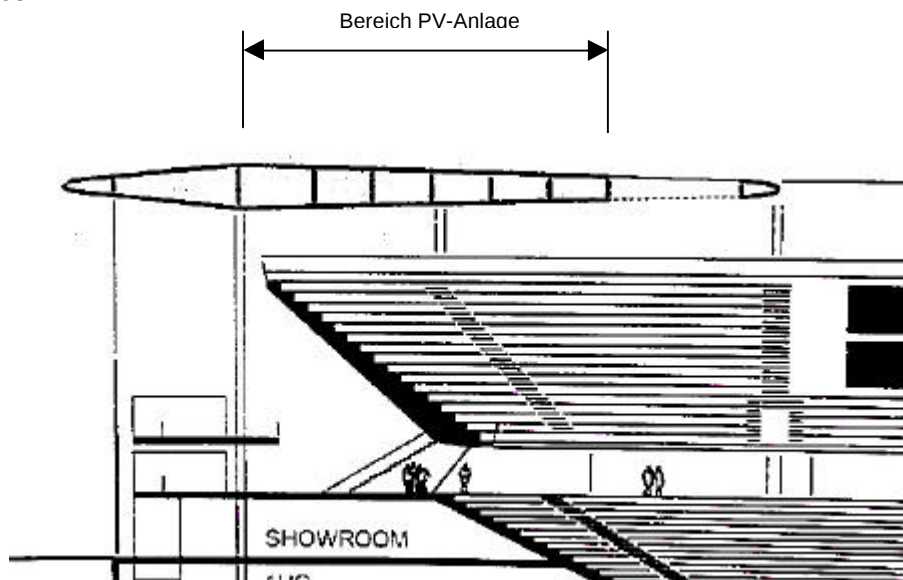
Im Jahre 1925 wurde das erste Wankdorfstadion gebaut. Es überlebte „nur“ ein Vierteljahrhundert, denn im Herbst 1949 wurde das zweite Stadion an der gleichen Stelle errichtet. In diesem Stadion wurde 1954 der legendäre WM-Match Deutschland gegen Ungarn ausgetragen.

Die ersten Planungen für einen Neubau, das Stadion Wankdorf III erfolgte in den Jahren 1977 und 1986. Das heutige Projekt ging aus einem Architekturwettbewerb hervor, der im Juni 1998 startete und als Siegerprojekt „Wankdorf Mitte“ erkürt wurde.

Anfang 1999 erfolgt die Überarbeitung durch die 4 bestklassierten Architekturbüros und im Sommer desselben Jahres wird das Projekt W-Dream 2 (siehe auch Bilder im Anhang 8) der Öffentlichkeit vorgestellt. Das Projekt umfasst ein Fussballstadion mit 35'000 Sitzplätzen, ein Einkaufszentrum, ein Multiplexkino, ein Einkaufszentrum, Restaurants und Büros.

Nach Einsprachen gegen das Baugesuch wurde auf das Multiplexkino verzichtet und im Mai 2001 die Baubewilligung erteilt. Anfang August dieses Jahres wurden die vier Lichtmasten und das Tribünenenddach des alten Stadions in einer spektakulären Aktion gesprengt und der Abbruch begann.

Das neue Stadion W-Dream 2 umfasst in den Untergeschossen ein Einkaufszentrum mit Parkhaus, im Erdgeschoss das eigentliche Stadion sowie weitere Räumlichkeiten. Die Büros sind in einem parallel liegenden Trakt untergebracht. Das Dach ist architektonisch sehr prägnant als Flügelprofil ausgebildet, wie das Bild unten zeigt. In der Zwischenzeit haben sich einzelne Details schon wieder verändert, die Grundaufführung ist jedoch gleichgeblieben.



Gliederung der Teilaufgaben

Die Darstellung der untersuchten Gebiete folgt der Struktur der Gesuchseingabe, welche die folgenden Bereiche umfasst:

Kapitel 5.1	Evaluation von Herstellern und Produkten, Lieferfristen und -mengen
Kapitel 5.2	Elektrische Konzeption inklusive Blitzschutz, Ertrag und thermischen Betrachtungen
Kapitel 5.3	Mechanische Konzeption inklusive Wartungskonzept, Einbindung und Sicherheit
Kapitel 5.4	Projektentwicklung mit Terminplan, Qualitätssicherung, Contracting und Rechtliches
Kapitel 5.5	Wirtschaftlichkeit mit Finanzdaten, Controllingkonzept und Planrechnung

Untersuchte Varianten

Im Verlauf der Evaluationen stellte sich relativ rasch heraus, dass vor allem vier Produkte auf der Basis von amorphem Silizium in Frage kommen. Um sowohl den Vergleich zum gewohnten kristallinen Silizium zu ermöglichen, als auch um die Unterschiede der verschiedenen Materialien aufzuzeigen, wurde eine Referenzvariante auf der Basis von kristallinem Silizium vorangestellt. Dies ergibt eine Feinstruktur für die obigen Themen, die auf den fünf unten dargestellten Varianten beruhen:

- Variante 1: REFERENZ (monokristalline Zellen)
- Variante 2: MILLENIA (amorphe Tandemzellen)
- Variante 3: MODULVERBUND (amorphe Tandemzellen)
- Variante 4: SCHINDEL (amorphe Triplezellen)
- Variante 5: MIKROMORPH (Kombizelle amorph und mikrokristallin)

Wo nötig und vorhanden, werden die Informationen zu CIS-Produkten (Kupfer-Indium-Diselenid) am Schluss erwähnt.

5.1 Evaluation

Die Evaluation dient dem Gewinnen einer aktuellen Markübersicht. Dazu wurde ein Fragebogen in deutsch und englisch für Hersteller von Dünnschichtzellen entworfen. Dieser wurde an eine Reihe von wichtigen Herstellern entweder direkt, oder sofern vorhanden über deren Vertreter in der Schweiz gesandt. Der Fragebogen enthielt Fragen zur verwendeten Technologie, zu technischen Daten des empfohlenen Produktes sowie kommerzielle Angaben wie Lieferzeit, Zahlungsbedingungen, Produktionskapazität und ähnliches mehr. Die Hersteller wurden ausserdem aufgefordert einen Richtpreis für eine Liefermenge von 10'000 m² anzugeben.

Die Übersichtstabelle zeigt einige Punkte aus den ausgewerteten Fragebogen (Alle Angaben basieren auf den Herstellerangaben):

Hersteller	Technologie	Prozess	Kapazität 2001/2002	Wirkungsgrad
BP-Solarex (GB/USA) [A13]	a-Si (Tandemzelle)	Einzelsubstrate	Ca. 4 MWp	4.96 % (Modul)
Uni-Solar (USA) [A14]	a-Si (Triplezelle)	Roll-to-Roll	Ca. 25 MWp	6.32 % (Modul)
ASE Tessag (D) [A15]	a-Si (Tandemzelle)	Einzelsubstrate	Ca. 1,5 MWp / Ca. 3 MWp	5.71 % (Rohmodul)
Kaneka (JAP) [A16]	a-Si/μc-Si (Hybridzelle)	Einzelsubstrate	Im Aufbau / Ca. 3 MWp	9.12 % (Modul)
Siemens (D/USA) [A14]	CIS (Mehrschichtzelle)	Einzelsubstrate	Ca. 500 kWp	9.40 % (Modul)
Würth Solar (D) [A17]	CIS	Einzelsubstrate	Im Aufbau / Ca. 1.2 MWp	7.92 % (Modul)

Die obige Tabelle dokumentiert gut die wichtigsten Fakten der letzten Jahre:

- **Trend zu Mehrfachzellen**
Die Entwicklung im Bereich Dünnschichttechnologien ging in den letzten Jahren stetig voran. Deutlich wird dies darin, dass die meisten Hersteller mindestens eine Tandemzelle, einer sogar eine Triplezelle produziert. Dadurch kann sowohl der Wirkungsgrad wie auch die Energieausbeute vergrössert werden.
- **Ausbau der Kapazitäten**
Die meisten Hersteller produzieren in Serie. Die Produktion wurde bereits oder wird in den nächsten Jahren noch deutlich ausgebaut, was das Potential der Dünnschichttechnologie eindrücklich unterstreicht. Ebenso ist schon eine gute Vielfalt und Verfügbarkeit der Produkte vorhanden.
- **Steigende Wirkungsgrade**
Durch Verbesserungen sowohl in der Produktion als auch im Aufbau der Zelle können heute schon Wirkungsgrade um die 10 % erreicht werden. Damit sind die besten Dünnschichtzellen bei rund 63 % der besten monokristallinen Zellen angelangt.

Im Fragebogen noch nicht berücksichtigt wurde der Bereich graue Energie, wo die Dünnschichtmaterialien in der Regel deutlich besser abschneiden.

Im folgenden werden alle Varianten jeweils kurz kommentiert und im Anschluss daran werden die Informationen bezüglich der Situation von Produkten auf der Basis von CIS aufgeführt.

5.1.1 Variante REFERENZ

Diese Variante basiert auf herkömmlichen monokristallinen Siliziumzellen um eine Vergleichsbasis zu haben (deshalb auch der Name der Variante). Aufgrund der grossen Programme in verschiedenen Ländern sind einzelne Zellen, wie sie für kundenspezifische Lamine verwendet werden momentan recht schwierig erhältlich. Deshalb wurde eine Auslegung mit 5-Inch Zellen gewählt, um nicht von einem einzigen Lieferanten abhängig zu sein.

5.1.2 Variante MILLENIA

Das vom Vertreter vorgeschlagene Produkt basiert auf einer Tandemzelle und wird vom Hersteller BP-Solarex schon seit einiger Zeit vertrieben. Es handelt sich um das Modul MST-43.

Die Liefersituation ist vernünftig, handelt es sich doch um ein Standardprodukt. Dadurch gelten auch die üblichen Garantiebedingungen bezüglich Degradation (d.h. 80 % Nennleistung nach 20 Jahren) und das Produkt wurde schon von den wichtigsten Stellen geprüft und/oder zertifiziert (UL, TÜV Rheinland, TISO [A18]).

5.1.3 Variante MODULVERBUND

Das vom Hersteller ASE Tessag vorgeschlagene Produkt basiert auf einer Tandemzelle und wird in verschiedenen Varianten schon seit mehr als 5 Jahren produziert. Der Produktvorschlag lautete auf das Modul ASE-30-DG-UT. Im Rahmen der elektrischen Grobdimensionierung wechselten wir auf ein vergleichbares Produkt, nämlich das Rohmodul PR 5603 B 036 N.

Die Liefersituation ist gut, da es sich auch hier um ein Standardprodukt handelt. Es gelten die üblichen Garantiebedingungen bezüglich Degradation (d.h. 90 % Nennleistung nach 10 Jahren) und das Produkt wurde schon von folgenden Stellen geprüft und/oder zertifiziert: ESTI [A19], TÜV, TISO.

Der Hersteller hat angeboten, für eine solch grosse Liefermenge eine Spezialanfertigung zu produzieren, die dann preislich interessanter würde.

5.1.4 Variante SCHINDEL

Das vom Vertreter vorgeschlagene Produkt basiert auf einer Triplezelle und wird vom Hersteller Uni-Solar schon seit mehreren Jahren vertrieben. Der Produktvorschlag lautete auf das Modul US-64. Im Rahmen der elektrischen Grobdimensionierung wechselten wir auf ein vergleichbares Fertigbauteil, das in den beiden Versionen SSR-128 und SSR-64 erhältlich ist.

Die Liefersituation ist nur mässig befriedigend, dies obwohl es sich um ein Standardprodukt handelt und der Hersteller über eine sehr grosse Produktionskapazität verfügt. Es gelten die üblichen Garantiebedingungen bezüglich Degradation (d.h. 80 % der Nennleistung nach 20 Jahren) und das Produkt wurde von den folgenden Stellen schon geprüft und/oder zertifiziert: UL, ESTI für kundenspezifische Produkte, TISO

Leider können im Moment keine kundenspezifischen Lamine hergestellt werden, da Uni-Solar keine Einzelzellen mehr liefert. Dieser Entscheid könnte aber in Anbetracht der grossen Liefermenge nochmals diskutiert werden.

5.1.5 Variante MIKROMORPH

Das vom Hersteller vorgeschlagene Produkt basiert auf einer Einfachzelle und wird schon seit mehreren Jahren vertrieben. Der Produktvorschlag lautete auf das Modul SC 60. Im Rahmen der elektrischen Grobdimensionierung wechselten wir jedoch auf ein wesentlich interessanteres Produkt, nämlich das hybride Modul. Dieses Produkt basiert auf dem Konzept der Universität Neuenburg (IMT) mit einer Kombizelle aus a-Si und einer mikrokristallinen Schicht.

Die Liefersituation ist noch schwierig, da der Hersteller einerseits die Produktionskapazität erst stark ausbaut und andererseits primär den japanischen Heimmarkt beliefern möchte. Das Produkt wurde von den folgenden Stellen schon geprüft: JQA [A19], TISO, IMT.

Der Hersteller hat aber angedeutet, dass aufgrund der grossen Liefermenge eine Ausnahme von der prioritären Belieferung des Heimmarktes gemacht werden könnte.

5.1.6 Hersteller von CIS

Generell befinden sich CIS-Module erst im Stadium der Markteinführung, so dass alle Hersteller erst Pilot- oder kleine Serienfabrikationen aufgebaut haben. Damit sind beide Produkte nur bedingt mit denjenigen auf Basis von amorphem Silizium vergleichbar. Von den Produkteigenschaften her kommen CIS-Module nicht in Frage (Hauptsächlich aufgrund des eher schlechteren Temperaturkoeffizienten der Leistung gegenüber kristallinem Silizium und der mangelnden Produktions- und Langzeiterfahrung). Nachfolgend werden die beiden befragten Hersteller kurz vorgestellt.

Siemens verfügt über ein Produkt, das schon in kleineren Mengen käuflich ist. Die kleine Serienfabrikation von rund 500 kWp produziert immerhin schon recht stabile Wirkungsgrade von annähernd 10 %. Hingegen fehlen Erfahrungen bezüglich der Degradation des Materials, weshalb der Vertreter auch keine Leistungsgarantien angeben konnte. Die Strategie, vorerst ein kleines Modul stabil zu produzieren scheint sich auszuzahlen.

Würth-Solar verfügt über ein interessantes Modul mit einer sehr guten Ästhetik, hat aber Mühe, die ehrgeizigen Pläne umzusetzen. Gegenüber den ursprünglichen Plänen weisen die Aktivitäten der Firma eine Verspätung von knapp einem Jahr auf. Die Hauptprobleme liegen in der regelmässigen Ausbeute der grösseren Flächen. Ein Pluspunkt wäre die Möglichkeit, Einzelzellen zu beziehen, so dass kundenspezifische Lamine hergestellt werden können.

5.2 Elektrische Konzeption

Die elektrische Konzeption soll vor allem dem Erkenntnisgewinn beim Up-Sizing von Anlagen mit Dünnschichtzellen dienen. Deshalb wurde die Grobdimensionierung relativ ausführlich vorgenommen, um die Möglichkeiten und Grenzen etwas ausloten zu können. Dieser Bereich beinhaltet nebst der elektrischen Grobdimensionierung eine Reihe von Abklärungen, die insbesondere die Gebiete Blitzschutz, thermisches Verhalten, elektrisches Verhalten sowie Ertragsberechnung umfassen.

5.2.1 Elektrische Grobdimensionierung

Bei den Überlegungen zur Grobdimensionierung zeigte sich schnell, dass eine modulare Auslegung grosse Vorteile bietet. Da auch das Dach in eine grössere Anzahl von Segmenten unterteilt ist, können die Gesamtdaten im Anschluss sehr schnell ermittelt werden. Da die vertikale Länge mit gut 20 Metern überall gleich war, lag es nahe, die unterschiedliche Breite der einzelnen Segmente als Unterscheidungskriterium heranzuziehen. Dadurch ergaben sich noch drei Typen von Segmenten:

28 Stück vom Typ A: Breite von 8,58 Metern
 20 Stück vom Typ B: Breite von 8,00 Metern
 8 Stück vom Typ C: Trapez von 32,00 Metern, respektive 11,80 Metern

Durch die Multiplizierung von immer gleichen Typen lassen sich auch die benötigten Materialien gut vorbereiten und vorfabrizieren. Dies hat unter anderem auch Kostenvorteile, da nicht in schwieriger Umgebung (grosse Höhe auf Gerüsten) Massanfertigungen montiert werden müssen.

In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten Merkmale der einzelnen Varianten aufgeführt:

Variante	Installierte Leistung [kWp]	System-Spannung [V _{DC}]	Anzahl Wechselrichter
REFERENZ	1'220	580	36
MILLENIA	510	580	32
MODULVERBUND	460	580	32
SCHINDEL	570	± 350	44
MIKROMORPH	830	600	28

Die zum Teil gleiche Anzahl Wechselrichter rührt daher, dass hier lediglich die Gesamtanzahl aufgeführt ist, unabhängig der Leistung. Bei einzelnen Varianten sind für die Eckelemente vom Typ C auch kleine, einphasige Wechselrichter vorgesehen.

5.2.2 Blitzschutz

Ein Hauptkriterium für einen guten Blitzschutz bildet die Verkabelung, wo auf eine möglichst geringe Schlaufenbildung grössten Wert gelegt werden muss, da es sich bei diesem Dach um riesige Flächen handelt. Dabei wurden die Vorgehenshinweise der ENS (Empfehlungen zur Nutzung von Sonnenenergie, Kapitel 6.3.5 [B5]) gebührend berücksichtigt. Die Erfahrungen grosser Gebäudeintegrationen, wie zum Beispiel die PV-Fassade Wittigkofen (Bern, siehe auch [B6]) werden ebenfalls in die Detailprojektierung mit einfließen. Dort wurde als wichtigste Massnahme im Bereich Blitzschutz konsequent auf die optimale Geometrie der ganzen Verkabelung geachtet, was zugleich die beste Voraussetzung für eine strahlungsarme Anlage ist.

Grundsätzlich kann aber beim vorliegenden Projekt davon ausgegangen werden, dass der Blitzschutz keine nennenswerten Probleme verursachen wird, da es sich beim Ganzen um eine in sich leitende Metallkonstruktion handelt. Eine gewisse Mehrlänge der Strangverkabelung wurde zugunsten einer Minimierung der Schlaufenbildung in Kauf genommen. Die Mehrlänge hat nur einen minimalen Einfluss auf die Verkabelungsverluste, da alle Dimensionierungen auf einer hohen Systemspannung beruhen und damit nicht sehr heikel sind.

Was nach der Optimierung der Verkabelung noch an Schadensmöglichkeiten bleibt, wird im Rahmen der Detailprojektierung mittels technischen Massnahmen (d.h. mit Überspannungsschutzelementen, etc.) auf ein tragbares Niveau gebracht.

5.2.3 Thermisches Verhalten

Dies ist eine wichtige Grösse bei der Bestimmung des Ertrages. Aufgrund der von den üblichen Integrationen stark abweichenden Konstruktion musste das thermische Verhalten überprüft werden. Dazu wurden einerseits durch ein spezialisiertes Büro [A21] Simulationen auf der Basis von Stundenwerten mit einem Programm zur Gebäudesimulation durchgeführt (siehe Beispiel Juli im Anhang) und die Resultate mit denjenigen von Dimensionierungsprogrammen für Netzverbundanlagen verglichen.

Hier zeigte sich, dass für die Detailprojektierung noch Handlungsbedarf besteht, liegen doch die erhaltenen Werte in einem Bereich, wo sie sich den üblichen Erfahrungswerten weitgehend entziehen. Überraschenderweise lagen die berechneten Temperaturerhöhungen von rund 30° Celsius vor allem im Sommer einiges unter den abgeschätzten Werten. Zwar liegen auch die Temperaturen des Programms PVSYST in einem ähnlichen Bereich, basieren jedoch nicht auf einer bauphysikalischen Nachbildung des Baukörpers.

Im Rahmen der Detailprojektierung sollen die bisher zugrunde gelegten Werte der Temperaturerhöhung aus der alten Meteorologienorm kritisch hinterfragt werden.

5.2.4 Elektrisches Verhalten

Dies ist ein wichtiger Bereich, wo Erfahrungen durch das Up-Sizing fehlen. Im Voraus wurde vor allem im Bereich der maximalen Systemspannung mit Einschränkungen gerechnet. Im Verlauf der Datenerhebung und der Grobdimensionierung stellte sich heraus, dass vor allem zwei Bereiche anders als bei kristallinen Anlagen sind:

- a) Maximale Systemspannung
- b) Zum Teil fehlende Informationen zu elektrischen Kennwerten

Diese beiden Faktoren sollen kurz erläutert werden:

- a) Maximale Systemspannung

Die maximale Systemspannung gegenüber Erdpotential wird einerseits durch die verwendeten Materialien und andererseits durch deren Geometrie bestimmt. Das heisst, die wichtigsten Einflussgrössen sind einerseits die Isolationsfestigkeit und andererseits die auftretenden Feldstärken.

Im Fragebogen wurde die Frage nach der maximalen Systemspannung auch gestellt und wurde von den meisten Herstellern, respektive deren Vertretern beantwortet. Interessanterweise gaben alle eine zulässige Systemspannung von 600 V_{DC} an, was ebenfalls die übliche Grösse für Anlagen mit kristallinen Zellen darstellt. Erwartet haben wir hier Einschränkungen, da dünne Schichten empfindlicher auf die hohen Feldstärken reagieren. Es scheint so, dass die Hersteller die höhere Empfindlichkeit der Dünnschichtzellen mit einer ausgeklügelten Geometrie und zuverlässigen Isolationsmaterialien im Griff haben.

Tiefere Systemspannungen stellen jedoch nur bedingt eine grosse Einschränkung dar, können sie doch relativ elegant mit einer bipolaren Speisung aufgefangen werden, d.h. es wird ein künstlicher Mittelpunkt gebildet, der dann an Erde gelegt wird.

b) Zum Teil fehlende Informationen zu elektrischen Werten

Aufgrund der Erfahrungen und durch Messungen gut erhärtet sind der Temperaturkoeffizient der Leistung, der zwar meist von den Herstellern nicht angegeben wird, jedoch in einem relativ engen Bereich von typisch 0,45 bis 0,50 % pro °K für kristallines Silizium liegt. Bei den amorphen Dünnschichtzellen ist es wichtig, zu wissen, ob es sich um eine Single-, Tandem- oder Triplezelle handelt, denn deren Temperaturkoeffizienten sind unterschiedlich. Im Fragebogen wurde er lediglich von zwei Herstellern angegeben.

Glücklicherweise wurde diesen Herbst am IMT der Universität Neuenburg eine Semesterarbeit unter anderem zu diesem Thema gemacht, so dass auf verlässliche Zahlen abgestützt werden konnte.

Eine weitere Grösse, die noch praktisch unbekannt ist, betrifft das Verhalten der Produkte im Rückwärtsbetrieb. Kristalline Zellen können im Rückwärtsbetrieb je nach Produkt ohne weiteres bis zum 4-fachen des eigenen Nennstroms absorbieren. Diese Kenngrösse konnte von den Herstellern trotz Nachfrage noch nicht geliefert werden. Sie kann für die Detailprojektierung dazu dienen, das Schutzkonzept zu optimieren, indem Gruppen von Strängen gebildet werden, die quasi inhärent sicher sind und auf herkömmliche Entkopplungsglieder wie Dioden verzichten können.

5.2.5 Ertragsprognosen

Eine verlässliche Ertragsprognose basiert auf den beiden wichtigen Pfeilern Meteodaten und Informationen zum elektrischen Verhalten. In der Schweiz sind wir in der glücklichen Lage für fast jeden Punkt hinreichend genaue Meteodaten mittels Programm generieren zu können. Die Software Meteonorm 4.0 [B7] berechnet für jede Gemeinde in der Schweiz entweder Monats- oder Stundenwerte der wichtigen Basisdaten Einstrahlung und Aussentemperatur. Diese Daten bildeten ebenfalls die Quelle für die thermische Simulation.

Die Informationen zum elektrischen Verhalten sind unterschiedlich gut dokumentiert. In den Ertragsberechnungen wurde vor allem auf zwei Quellen abgestützt, die beide Herstellerunabhängig sind. Einerseits ist dies das IMT der Universität Neuenburg und andererseits das TISO in Canobbio. Diese Quellen wurden insbesondere für die Angaben zum Temperaturkoeffizienten der Leistung als auch zur Nennleistung einzelner Hersteller zugrundegelegt.

Aufgrund der beinahe horizontalen Einbaulage sind Einbussen von rund 10 % gegenüber einer optimalen Ausrichtung von $\beta = 30^\circ$ und $\gamma = 0^\circ$ Süd zu erwarten, so dass auch die spezifischen Erträge um diesen Betrag geringer ausfallen.

Die nachfolgende Vergleichstabelle zeigt gut, wie nahe beieinander die einzelnen Varianten liegen. Dies unter anderem deshalb, weil die Temperaturerhöhung im Sommer sehr moderat ausfällt.

Variante	Pinstall [kWp]	Ertrag [MWh/a]	Spezifisch [kWh/kWp]
REFERENZ	1'220	1'073,0	880
MILLENNIA	510	454,0	891
MODULVERBUND	460	411,5	895
SCHINDEL	570	513,5	901
MIKROMORPH	830	748,5	902

Alle angegebenen Werte sind gerundet, da noch keinerlei Optimierung vorgenommen wurde und einzelne Angaben noch genauer geprüft werden müssen.

5.3 Mechanische Konzeption

Die mechanische Konzeption erstreckt sich über ein weites Gebiet, das von der mechanischen Grobdimensionierung über die architektonische Einbindung auch über Fragen der Wartung erstrecken. Bei allen Abklärungen fiel immer wieder auf, wie wichtig auch logistische Überlegungen waren, handelt es sich doch um erhebliche Materialmengen. Zum Beispiel wird bei der Variante Hybrid für die Ziegellattung Holz mit Abmessungen von $B \times H = 100 \times 90 \text{ mm}$ mit einer Lauflänge von gut 11,5 km benötigt! Dies entspricht etwas mehr als 100 m³ Holz, was etwa 520 Tonnen ergibt und 26 Fahrten eines 28 t LKW auf die Baustelle braucht. Oder bei der Variante Schindel wiegt allein die dazugehörige Stahlunterkonstruktion rund 245 Tonnen.

Bei allen Betrachtungen wurde berücksichtigt:

- Mechanische Eigenschaften in Bezug auf Wind- und Schneelasten
- Dichtigkeit der Dachhülle in Bezug auf die Wasserabführung
- Logistische Überlegungen zum Montageablauf
- Allfällige Schnittstellen, respektive Möglichkeiten für die Vorfertigung von grösseren Elementen

5.3.1 Architektonische Einbindung

Aufgrund von Gesprächen mit dem Architektenteam konnten die wichtigsten Randbedingungen und Auflagen festgelegt werden. Daraus resultierten einige Einschränkungen, die jedoch nicht hinderlich waren. Hier sind die wichtigsten Randpunkte kurz erwähnt:

- PV-Feld muss integriert sein, d.h. die dichte Dachhaut bilden
- Die Materialisierung der Zonen soll gemäss Plan opak, transluzid, respektive transparent sein
- Entlüftungsöffnungen im Flügel sind möglich
- Eine Absturzsicherung auf der Firstlinie in Form eines Rohres ist vorgesehen
- Technikräume sind an allen vier Ecken des Gebäudes im EG vorgesehen

Im Verlaufe der Arbeiten ergaben sich noch einige kleinere Änderungen der Konstruktion, so wurde zum Beispiel das Profil aus der waagrechten Symmetrieachse gekippt und weist auf der Oberfläche eine grössere Neigung auf. Anstelle von rund 2 ° beträgt das Gefälle nun 5 °. Dies erleichtert die Auswahl an Integrationssystemen, bringt jedoch infolge grösserem Auftrieb des Profils höhere Anforderungen an die Statik mit sich.

5.3.2 Einbaumöglichkeiten

Aufgrund der grossen Menge an Material und der sehr exponierten Montagesituation wurden verschiedene Möglichkeiten einer modularen Vormontage geprüft. Nach recht umfangreichen Abklärungen wurde dieses Vorhaben aber wieder aufgegeben. Hauptgrund wäre die doppelte Unterkonstruktion. Um ein Element mittels Kran an den Montageort zu heben, muss eine minimale Eigensteifigkeit gewährleistet werden, ansonsten das Element verformt wird. Auf der anderen Seite muss die Dachkonstruktion dergestalt sein, dass sie auch ohne die Elemente selbsttragend ist. Das führt dazu, dass schlussendlich für das fertig montierte Dach zu grosse Gewichte durch die Unterkonstruktion vorhanden sind.

Für die fünf elektrischen Varianten kristallisierten sich am Schluss drei grundlegende Einbauarten heraus:

- klassischer Einbau mit einem Pfosten/Riegelsystem (für die Varianten REFERENZ und MODULVERBUND)
- Einbau mit dem System Solrif (für die Varianten MILLENIA und HYBRID)
- Verwendung einer Art Metallfalzdach (für die Variante SCHINDEL)

Diese drei Einbauarten werden in den folgenden Abschnitten umschrieben:

Einbau mit Pfosten/Riegelsystem

Mit einem spezialisierten Dach- und Fassadenplaner [A22] wurden die verschiedenen Möglichkeiten untersucht, welche zu Verfügung stehen. Insbesondere dreht sich die Frage darum, ob die beiden Hauptfunktionen Dichtigkeit und mechanische Festigkeit jeweils separat oder im gleichen System gelöst werden sollen. Aufgrund der flachen Dachneigung, den grossen Flächen und den dadurch zu erwartenden grossen Wassermengen wurde auf ein erhöhtes Riegelprofil verzichtet und eine Lösung mit Fugenbändern erarbeitet.

Im Falle der Variante MODULVERBUND musste aufgrund der grossen Modulfläche die freie Spannweite unterteilt werden. Sonst wären Glasstärken von gegen 30 mm vonnöten gewesen, was aus Sicht der Photovoltaik nicht in Frage kommt.

Einbau mit dem System Solrif

Dank der grösseren Neigung kann dieses System [A23] überhaupt eingesetzt werden, denn die Mindestneigung beträgt 5 °, exakt der Wert des jetzigen Profils. Ausserdem gingen wir anfänglich von einer Uko ganz aus Stahl aus, wechselten aber aus verschiedenen Gründen auf eine Ziegellattung aus Holz. Dies erlaubt eine grössere Flexibilität bei der Montage.

Durch die grosse Menge an Modulen dürfte eine Schlussmontage vor Ort am sinnvollsten sein. Dazu müssten dann geeignete Räumlichkeiten gemietet werden, um dort eine kleine „Endproduktion“ einzurichten. Aufgrund der grossen Modulzahl verteuert die Anfertigung eines eigenen Werkzeuges den Rahmen nur unwesentlich.

Einbau mit dem System Stahlschindel

Der Vorteil dieses Einbausystems liegt darin, dass die Schindeln schon einbaubereit konstruiert sind. Für das vorliegende Projekt musste lediglich noch eine Ausfächung vorgesehen werden, wo die Schindeln aufgesetzt werden konnten.

Auch die Schindellösung ist erst durch die grössere Neigung möglich geworden, weil auch hier die vom Hersteller vorgeschriebene Mindestneigung 5° beträgt.

5.3.3 Sicherheitsaspekte

Alle Varianten müssen den bestehenden Vorschriften genügen. Für den vorgesehenen Einsatz bestehen glücklicherweise keine Einschränkungen. Dank der Konstruktionsweise des Flügelprofils mit einer abgedeckten Untersicht entfallen die verschärften Vorschriften für Verglasungen im Überkopfbereich [B 8], wie sie die Varianten Referenz und Modulverbund darstellen. Dafür müssten sonst Verbundsicherheitsverglasungen eingesetzt werden. Die metallische Untersicht wird damit quasi zur Absturzsicherung für die Module.

Die Berührungssicherheit kann gut gewährleistet werden, da die Installation dem Publikum nicht zugänglich sind. Es liesse sich allerdings überlegen, ob im Sinne einer Demonstrationswirkung nicht zum Beispiel die Wechselrichter, ergänzt um Displays mit Informationen zum Anlagebetrieb im Publikumsbereich hinter Glas aufgestellt werden können.

5.3.4 Wartungskonzept

Mit einem angepassten Wartungskonzept soll sichergestellt werden, dass die PV-Anlage jederzeit optimal produzieren kann. Bei gebäudeintegrierten Anlagen ist deshalb eine Zweiteilung aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen von Mechanik und Elektrik sinnvoll.

Mechanischer Teil

Da die Gebäudehülle sowohl auf der Innen-, wie auch auf der Aussenseite kontrolliert, und allenfalls gereinigt werden muss, hat der Architekt auch ohne Photovoltaik-Anlage schon Zutrittsmöglichkeiten zum Flügelprofil, Servicestege im Innern, Ausstiege, Sicherheitseinrichtungen für Arbeiten auf dem Dach vorgesehen. Auf diese Hilfsmittel kann auch der Betreiber der PV-Anlage zurückgreifen.

Die Wartung wird sich auf die regelmässige Kontrolle der Dichtigkeit und der Verschmutzung konzentrieren. Wenn nötig kann der Solargenerator gereinigt werden.

Elektrischer Teil

Der elektrische Teil soll für regelmässige Kontrollen und im Pannenfall leicht erreichbar sein. Deshalb werden sowohl Feldverteilkasten, Wechselrichter als auch Hauptverteilungen so angeordnet, dass eine gute Zugänglichkeit sichergestellt ist. Kombiniert mit einer detaillierten Fernüberwachung können die nötigen Wartungsgänge innert kurzer Zeit vorgenommen werden.

Die Wartung wird sich vor allem auf die regelmässige Kontrolle der Feldverteilkasten, Wechselrichter und Hauptverteilungen konzentrieren.

5.4 Projektabwicklung

In der Projektabwicklung greifen die beiden unterschiedlichen Betrachtungsweisen Terminplanung und Qualitätssicherung ineinander und sind aber auch stark voneinander abhängig. Im Verlauf der fortschreitenden Planung werden beide Aspekte laufend detailliert. Den Rahmen und die Grundlage für diese Betrachtungsweisen bilden die Randbedingungen rechtlicher und finanzieller Art.

Die wichtigsten Überlegungen werden nachfolgend dargestellt.

5.4.1 Terminplan

Die Terminplanung wurde in 4, in sich geschlossene Abschnitte unterteilt (siehe auch Anhang 8). In einem ersten Schritt wurden die wichtigsten Blöcke so zusammengefasst, dass für die Detailprojektierung lediglich noch Verfeinerungen und Unterteilungen vorgenommen werden müssen. Dies hat zum Ziel, dass der grundlegende Terminplan weiter als Kontrollplan verwendet werden kann.

Die 4 Abschnitte umfassen:

- Entscheidungsphase mit dem Sicherstellen von Dachnutzung, Energieverkauf und Finanzierung
- Projektierungsphase mit Detaillierung, Submissionen, Auswertung, Vergaben und Lieferzeit
- Realisierungsphase mit Vorbereitungsarbeiten, Montage, Inbetriebsetzung und Abnahmen
- Evaluationsphase mit Datenerfassung, Optimierung und Feinkorrektur Betrieb, Wartung und Unterhalt

Die Abschnitte erlauben eine teilweise Parallelführung der Arbeiten, so dass die Inbetriebnahme im Verlauf des Jahres 2003 sichergestellt werden kann und damit zu keinen zusätzlichen Verzögerungen infolge Bau einer PV-Anlage führt. Selbstverständlich muss dieser Zeitplan mit den beteiligten Parteien Bauherrschaft, Investor und Energieverkäufer noch abgestimmt und bereinigt werden.

5.4.2 Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung ist bei einem Projekt dieser Art von grösster Wichtigkeit und umfasst vor allem drei Bereiche, die relativ unabhängig voneinander betrachtet und erfasst werden können. Die Vorkehrungen dafür sollen kurz erläutert werden:

Bereich Material

Das beste Beispiel für die Qualitätssicherung im Bereich Material ist die für PV-Anlagen in dieser Grössenordnung übliche Nachmessung der gelieferten Leistung. Das Prinzip folgt einem einfachen Schema, das aber in den Details noch einige Überlegungen erfordert:

- Aufstellen eines Pflichtenheftes, respektive detaillierten Anforderungsprofils
- Bezeichnen der Vorgehensweise für die Nachkontrolle
- Ziehen der Stichprobe und Nachkontrolle in einer unabhängigen Testinstitution
- Vorgehen aufgrund des Resultates

Bereich Organisation

In den Bereich Organisation fallen vor allem zwei Teilgebiete, die unbedingt vorher geregelt werden müssen. Einerseits betrifft dies die Projektorganisation als solches und andererseits betrifft dies die Organisation des regulären Betriebs.

Die Projektorganisation soll während der ganzen Zeit der Projektierung und Realisierung sicherstellen, dass für alle Beteiligten die Aufgaben, die Verantwortung und die entsprechenden Kompetenzen klar geregelt werden. Dies beinhaltet auch eine klare Trennung der Funktionen Planung und Kontrolle.

Bereich Finanzen

Der Bereich Finanzen ist wie die Terminplanung darauf angewiesen, dass eine möglichst grosse Kontinuität bezüglich der Struktur herrscht. Das heisst, ein wichtiges Instrument um die Kosten unter Kontrolle zu halten liegt in einer Aufschlüsselung, die über die ganze Zeit unverändert bleibt (Detaillierungen dürfen immer vorgenommen werden, hingegen keine Anpassungen wie neue Positionen, andere Zusammenfassungen, etc).

Eine von Anfang an sinnvolle Aufteilung der Positionen entsprechend den später auszuführenden Arbeiten liefert die beste Grundlage dazu.

5.4.3 Contracting und Rechtliches

Die Bauherrschaft unter der Federführung der Marazzi Generalunternehmung sowie das Elektrizitätswerk der Stadt Bern [A24] haben signalisiert, dass sie nicht an der Finanzierung der Photovoltaikanlage auf dem Fussballstadion Wankdorf interessiert sind. Die Bauherrschaft steht dem Bau der Photovoltaikanlage grundsätzlich positiv gegenüber, jedoch darf der Bau der Anlage nicht mit Kostenfolgen für die Bauherrschaft verbunden sein.

Somit muss für den Bau der Photovoltaikanlage eine Contracting-Lösung angestrebt werden. Das heisst: Der Bau, die Finanzierung sowie der Betrieb und Unterhalt der Photovoltaikanlage auf dem Fussballstadion Wankdorf werden durch einen Contractor oder Drittinvestor bewerkstelligt. Die Anlage bleibt im Besitze des Investors. Die ADEV Solarstrom AG hat als potentieller Investor ihr Interesse deutlich signalisiert, was sich nicht zuletzt auch in der Co-Finanzierung dieser Machbarkeitsstudie zeigt.

Damit das Projekt für einen Drittinvestor oder Contractor interessant wird, müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

Liefervertrag mit Solarstromabnehmer

Der Liefervertrag zwischen Solarstromproduzent und Solarstromabnehmer bildet einen Hauptbestandteil für das Zustandekommen des Projekts. Der Vertrag setzt sich wie folgt zusammen

- a. Vertragsdauer: Die Vertragsdauer orientiert sich an der Lebensdauer der Anlage. Üblich sind 20 Jahre.
- b. Kündigungsfrist: Von Seiten des Solarstromproduzenten kann der Vertrag innerhalb einiger Monate gekündigt werden. Der Solarstromabnehmer ist kündigungsberechtigt, falls der Produzent den Vertrag verletzt.
- c. Strompreis: Der Strompreis orientiert sich an den Gestehungskosten (kostendeckende Vergütung) und am Landesindex der Konsumentenpreise.
- d. Liefermenge: Der Vertrag legt die minimal zu liefernde Energiemenge fest. Wird der Wert während längerer Zeit unterschritten, kann der Solarstromabnehmer den Vertrag kündigen.
- e. Qualitätssicherung: Der Solarstromproduzent verpflichtet sich, die Anlage fachgerecht zu warten und zu betreiben und die Sicherheitsvorschriften einzuhalten.

Dachnutzungsvertrag

- f. Nutzdefinition: Eine definierte Dachfläche sowie die Leitungsführungen (Kabeltrassen) und die Platzierung der Wechselrichter müssen vertraglich mit einem Grundbucheintrag gesichert werden. Als Form der Verträge gelten: Dachnutzungsvertrag, Dienstbarkeitsvertrag, Mietvertrag).
- g. Zutritt: Im Weiteren muss der Zutritt zu den Anlageteilen geregelt werden.
- h. Haftung: Schäden gegenüber Dritten (im Speziellen gegenüber dem Dachbesitzer) werden mit dem Abschluss einer Haftpflichtversicherung durch den Investor gedeckt.

5.5 Wirtschaftlichkeit

Alle Entscheide über das Zustandekommen einer Realisierung orientieren sich an der Wirtschaftlichkeit und dem Risiko einer Investition. Dies trifft insbesondere auf Photovoltaik-Anlagen zu, die sowohl langfristig als auch kapitalintensiv sind. Deshalb ist eine möglichst gute Basis von Finanzdaten unerlässlich.

Die folgenden Kapitel beleuchten diese Aspekte der Finanzdaten.

5.5.1 Finanzdaten

Grundsätzlich basieren alle kalkulierten Kosten auf angefragten Richtpreisen und enthalten weder Mehrwertsteuer, noch irgendwelche Förderbeiträge. Hingegen wurden die Aufwendungen für das Bewilligungsverfahren, die Qualitätssicherung, die Teuerung während der Bauzeit, sowie eine Reserve für Unvorhergesehenes eingerechnet. Die Genauigkeit von Richtpreisen liegt typischerweise bei $\pm 15\%$. Vor allem bei der Anfrage der Hersteller wurde darauf hingewiesen, dass es sich ausdrücklich um Richtpreise handelt, Kampfpreise können anlässlich der Submission angegeben werden.

Die Investitionskosten der Varianten liegen zum Teil recht nahe beieinander und sind für Richtpreise schon ganz ansprechend. Allen Varianten ist gemeinsam, dass noch keine zusätzlichen Displays zu Informationszwecken eingerechnet sind.

Variante	Pinstall [kWp]	Kosten [kFr.]	Spezifisch [Fr./Wp]
REFERENZ	1'220	16'300	13,35
MILLENNIA	510	6'600	12,95
MODULVERBUND	460	9'500	20,65
SCHINDEL	570	9'500	16,65
HYBRID	830	13'400	16,15

An den Zahlen fallen vor allem die grossen Unterschiede der Kosten bei gleicher Art der Unterkonstruktion auf. So zum Beispiel zwischen der Variante REFERENZ und MODULVERBUND. Hier beträgt die Differenz fast 55 % gegenüber dem tieferen Wert. Ein Unterschied liegt in den unterschiedlichen Preisen für den Solargenerator, der jedoch noch nicht die ganze Differenz erklärt. In diesem Falle spielt eine wichtige Rolle, dass aufgrund der grossen Spannweiten der Lamine eine zusätzliche Unterstützung nötig wurde, die erheblich kostentreibend wirkte. Für die Detailprojektierung müsste versucht werden, die Ausrichtung der Lamine von quer auf hoch zu ändern, um Kosten für die Unterkonstruktion einzusparen.

Anhand der Investitionskosten können dann zusammen mit den Betriebs- und Unterhaltskosten (in unserem Fall pauschal mit 1 % der Investitionssumme angenommen) und einem Verhältnis von Eigen- zu Fremdkapital von 40 % zu 60 % die notwendigen Amortisationskosten errechnet werden. Dies erlaubt wiederum die Berechnung der Gestehungskosten. Auf der Basis der obigen Werte für die Investitionen und den Ertragsprognosen aus dem Kapitel 5.2.5 errechnen sich die folgenden Gestehungskosten (auf die nächsten 5 Rp aufgerundet):

Variante	Pinstall [kWp]	Ertrag [MWh/a]	Preis [Fr./kWh]
REFERENZ	1'220	1'073,0	1,40
MILLENNIA	510	454,0	1,40
MODULVERBUND	460	411,5	2,20
SCHINDEL	570	513,5	1,75
MIKROMORPH	830	748,5	1,65

Für die Berechnung der Gestehungskosten wurden folgende Werte verwendet:

- Eigenkapital 40 %
- Fremdkapital 60 %
- Zinssatz 4,8 %
- Betrieb + Unterhalt 1 % der Investition
- Abschreibungszeit 20 Jahre

Die berechneten Werte liegen für integrierte Anlagen schon in einem sehr guten Bereich und das noch ohne Optimierung und Förderbeiträge. Zusammen mit potentiellen Energieverkäufern können damit die Absatzchancen abgeklärt werden.

5.5.2 Planrechnung

Anhand der berechneten Gestehungskosten konnten für jede Variante eine Planrechnung mit den laufenden Einnahmen und Ausgaben über 20 Jahre erstellt werden. Diese dient vor allem dem Investor für die Liquiditätsplanung.

In der überwiegenden Anzahl der Fälle wird versucht, zuerst möglichst viel des Fremdkapitals zu amortisieren, damit die Belastung schnell kleiner wird. Dies heisst aber auch, dass in den ersten Jahren der Cash-Flow negativ werden kann.

In der Planrechnung ist auch ersichtlich, wann mit welchen Ersatzinvestitionen gerechnet wurde. In unserem Fall wurden die Wechselrichter auf 10 Jahre abgeschrieben, obwohl Leistungselektronik heutzutage eher 15 Jahre hält. Die kürzere Zeit steht in Bezug zur restlichen Abschreibungszeit von 20 Jahren, d.h. die Wechselrichter werden in der halben Nutzungszeit erneuert.

5.5.3 Controllingkonzept

Wie im Kapitel 5.4.2 schon ausgeführt, ist der zentrale Aspekt einer Realisierung die dauernde Kontrolle über die Finanzflüsse während der Projektdauer. Das Controlling basiert auf leicht überprüfbaren Elementen aus der ganzen Projektabwicklung. Dort müssen die drei Elemente Termine, Kosten und Qualität kontrolliert und beeinflusst werden. Dies geschieht mit Hilfe von geeigneten Tabellen, wo alle Änderungen und deren Einfluss auf die drei Bereiche festgehalten wird. Das Controlling verknüpft nun diese Meilensteine mit dem Kostenvoranschlag und der Planrechnung.

Dabei ist es unerlässlich, dass zum Beispiel die Struktur der erhobenen und errechneten Finanzdaten über die ganze Projektdauer unverändert bleibt und lediglich im zeitlichen Ablauf ausdetailliert wird.

6. Perspektiven

Im folgenden werden die Perspektiven unter den beiden Aspekten Aussichten für das Projekt und Folgen für die Photovoltaik im Allgemeinen aufgezeichnet.

6.1 Perspektiven für das Projekt

Unmittelbar nach Abschluss und Genehmigung dieses Schlussbericht werden die Autoren wieder mit den beteiligten Parteien Investor, Energieverkäufer und Bauherr Kontakt aufnehmen, um die Erkenntnisse zu erläutern und zu diskutieren.

Anhand der erarbeiteten Zahlen können nun mit potentiellen Energieverkäufern Vorverhandlungen geführt werden, um möglichst genau die Randbedingungen von Abnahmeverträgen abzustecken. Dies umfasst insbesondere die Menge der abgenommenen Energie, die Vergütung und die Laufzeit eines Vertrages.

Damit wiederum ist es dem Investor möglich, den Technologieentscheid zu fällen und die Sicherung der Finanzierung in die Wege zu leiten. Parallel dazu müssen mit dem Bauherrn die Randbedingungen für einen Dachnutzungsvertrag ausgehandelt werden.

Wenn diese Arbeiten ohne Verzögerungen erfolgreich abgewickelt werden können, so steht einer Realisierung nur mehr wenig entgegen. Ohne weitere Zwischenfälle ist dann eine Realisierung gemäss Zeitplan bis im Sommer 2003 machbar.

6.2 Perspektiven für die Photovoltaik

Wie in der Einleitung beschrieben, könnte auf diesem Dach die weltgrösste integrierte Photovoltaik-Anlage auf der Basis von Dünnschichtzellen realisiert werden. Die entscheidenden Impulse erwarten wir weniger auf die produzierte Leistung pro Jahr, sondern mehr auf die Signalwirkung über die Einsatzbereitschaft verschiedener Technologien. Für die Dünnschichttechnik auf der Basis von amorphem, respektive mikrokristallinem Silizium hätte das vermutlich einen An Schub zur Folge, weil damit gezeigt werden kann, dass die Technologie seit einiger Zeit einsatzbereit ist und zuverlässig funktioniert.

Mit der Realisierung von Grossanlagen kann ausserdem eine Art von Gegengewicht in der medialen Wahrnehmung gebildet werden. In den Medien verkauft sich jede Art von neuen Rekorden, sei das Technologie oder Wirkungsgrad sehr gut. Dass es aber von der Erfolgsmeldung bis zum käuflichen Produkt oftmals bis 20 Jahre braucht, steht selten. Ausserdem können kontinuierliche Entwicklungen aus den erwähnten Gründen schlecht vermittelt werden, da sie weder spektakulär noch ausserordentlich sind.

Wir sind überzeugt, dass ab einer gewissen Dichte von realisierten Photovoltaik-Anlagen diese Art der Energieerzeugung schnell zur Selbstverständlichkeit werden wird. Dabei hilft natürlich, wenn anhand eines interessanten Objektes für beide Bereiche „Brot und Spiele, respektive Einkaufszentrum und Fussballstadion“ viele Leute über diese umweltfreundliche Energiegewinnung informiert und aufgeklärt werden können.

7. Adress- und Literaturverzeichnis

7.1 Adressverzeichnis von beteiligten Firmen und Institutionen

- [A1] Ingenieurbüro Hostettler, Hochfeldstrasse 113,
3012 Bern, Telefon 031 / 302 62 26
- [A2] Marazzi Generalunternehmung AG, Worbstrasse 52,
3074 Muri b. Bern, Telefon 031 / 951 65 52
- [A3] Bundesamt für Energie, Worblentalstrasse 32,
3003 Bern, Telefon 031 / 322 56 11
- [A4] ADEV Solarstrom AG, Oristalstrasse 85,
4410 Liestal, Telefon 061 / 921 94 50
- [A5] INES, Ingenieurbüro für nachhaltige Energiesysteme, Bruno Liesch, Hochfeldstrasse 113,
3012 Bern, Telefon 031 / 305 19 70
- [A6] Solarte, Ingenieurbüro Stucki, Postgasse 40,
3011 Bern, Telefon 031 / 312 47 85
- [A7] Architekturbüro Felix Rebmann, Englischviertelstrasse 6,
8032 Zürich, Telefon 01 / 261 77 96
- [A8] Schwaar & Partner, Thunstrasse 59,
3006 Bern, Telefon 031 / 352 11 55
- [A9] Luscher Architectes, chemin de Beau-Rivage 6,
1006 Lausanne, Telefon 021 / 616 63 33
- [A10] Greenpeace Schweiz, Umweltorganisation, Heinrichstrasse 147,
8005 Zürich, Telefon 01 / 447 41 41
- [A11] BKW Energie AG, Viktoriaplatz 2,
3013 Bern, Telefon 031 / 330 51 11
- [A12] IMT, Institut de Microtechnique de l'Université, rue A.-L. Breguet 2,
2000 Neuchâtel, Telefon 032 / 718 32 00
- [A13] Muntwyler Energietechnik AG, Ziegelei-Märit, Postfach 512
3052 Zollikofen, Telefon 031 / 911 50 63
- [A14] Fabrisolar AG, Untere Heslibachstrasse 39,
8700 Küsnacht, Telefon 01 / 914 28 80
- [A15] RWE Solar GmbH, Geschäftsbereich Phototronics, Hermann-Oberth-Strasse 11,
D-85640 Putzbrunn, Telefon 004989 / 46264 – 100
- [A16] Kaneka Belgium N.V., Boulevard de Triomphe 173,
B-1160 Brussels, Telefon 00322 / 663 01 70
- [A17] Würth Solar GmbH Co. KG, Ludwigsburger Strasse 100,
D-71672 Marbach a. N., Telefon 00497144 / 94 14 – 0
- [A18] Laboratory of Energy, Ecology and Economy (LEEE-TISO), Trevano,
6952 Canobbio, Telefon 091 / 935 13 51
- [A19] ESTI, Renewables Energies Unit, Institute for Environment and Sustainability, Via E. Fermi 1
I-21020 Ispra (VA), Telefon 0039 / 0332 78 91 72
- [A20] Japan Quality Assurance Organization (JQA), 1-9-15, Akasaka, Minato-ku,
Tokyo 107-0052

- [A21] Strahm AG, Ingenieure und Planer, Papiermühlestrasse 164,
3063 Ittigen, Telefon 031 / 925 85 85
- [A22] Buri Fassaden Planung, Postfach,
3422 Kirchberg, Telefon 034 / 445 53 03
- [A23] Ernst Schweizer AG, Metallbau,
8908 Hedingen, Telefon 01 / 763 61 11
- [A24] Elektrizitätswerk der Stadt Bern, EWB, Sulgeneckstrasse 18, Postfach,
3001 Bern, Telefon 031 / 321 31 11

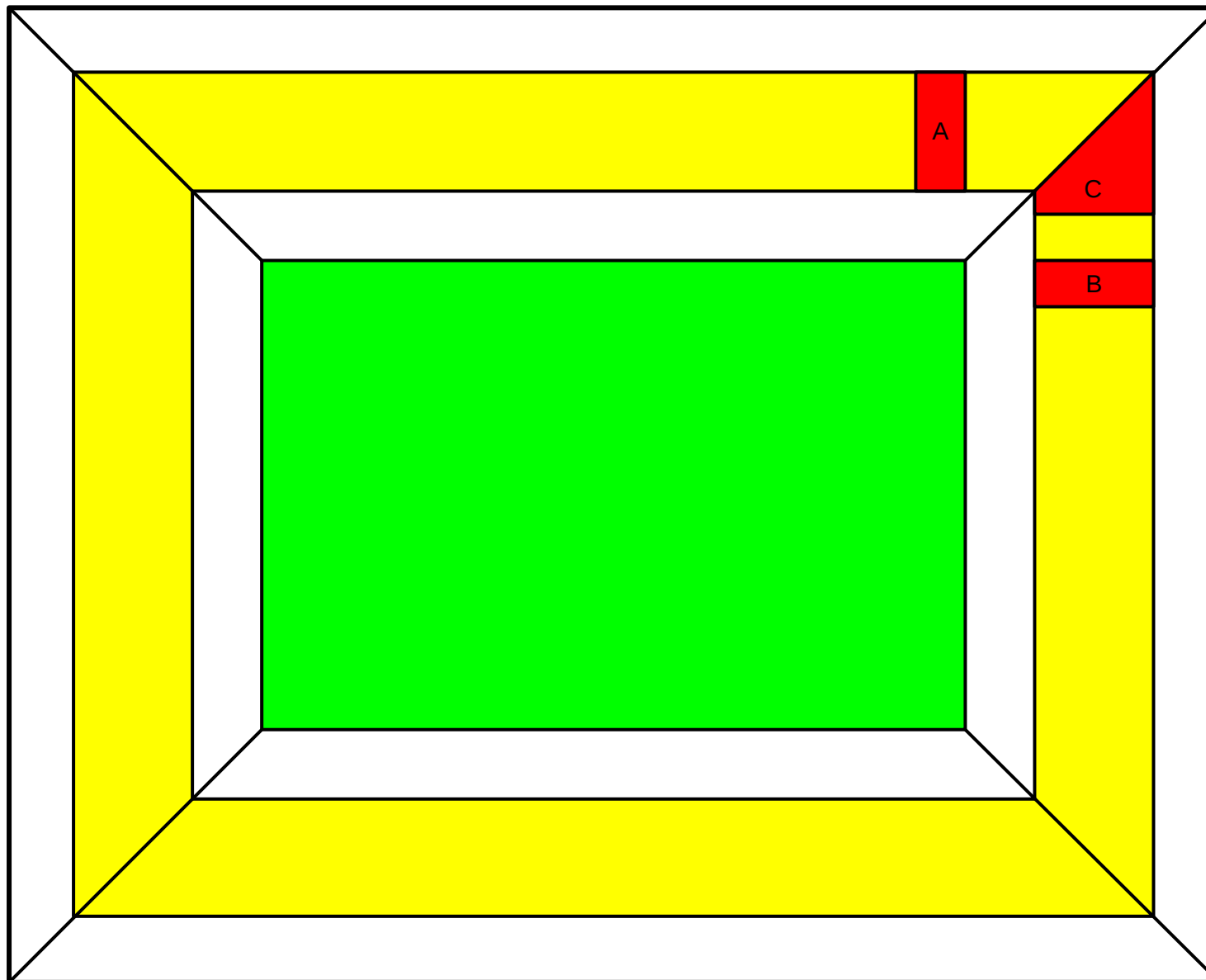
7.2 Publikationen, Gesetze und Verordnungen

- [B1] Machbarkeitsstudie Solar-Sportstadien Schweiz, Möglichkeiten und Grenzen für die Integration von Solarstromanlagen auf Gebäudeteilen der Sportstadien von Bern und Basel
Bezug: Greenpeace Schweiz, Heinrichstrasse 147, 8005 Zürich, Telefon 01 / 447 41 41
- [B2] Jahresbericht 2000 „Roof integrated amorphous silicon photovoltaic plant IMT Neuchatel“,
Bezug: ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon, Telefon 071 / 440 02 55
- [B3] Meteonorm, (hellblaue Publikation)
- [B4] Simulationssoftware PVSYST 3.11 von CAP/GUEPE der Universität Genf
Bezug: www.pvsyst.com
- [B5] Empfehlungen zur Nutzung von Sonnenenergie ENS, 1/97
Bezug: Swissolar, Seefeldstrasse 5a, 8008 Zürich, Telefon 01 / 250 88 33
- [B6] Schlussbericht „450 kW PV-Fassadenkraftwerk Wittigkofen“
Bezug: ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon, Telefon 071 / 440 02 55
- [B7] Software Meteonorm 4.0 von Meteotest
Bezug: Meteotest, Fabrikstrasse 14, 3012 Bern, Telefon 031 / 307 26 26
- [B8] Dokumentation „Sicherheit mit Glas“ und Glasnorm „Isolierglas 01“
Bezug: Schweiz. Institut für Glas am Bau, Badenerstrasse 21, 8004 Zürich, Telefon 01 / 241 88 00

8. Anhang

Der Anhang enthält die folgenden Dokumente:

- Dachplan mit eingezeichneter Fläche
- 3 Bilder vom Architekturbüro Luscher mit Wettbewerbsprojekt
- Terminplan
- Simulierter Tagesverlauf im Juli



Mechanische Auslegung:
Möglichst modular mit gleichen Typen von Flächen.

28 Stück vom Typ A
20 Stück vom Typ B
8 Stück vom Typ C

Legende:
gelb verfügbare Fläche total
rot Arraytypen

Situation mit Dachflächen Stadion Wankdorf

Ingenieurbüro Hostettler

Hochfeldstrasse 113
3012 Bern

Telefon: 031 / 302 62 26
Fax: 031 / 302 62 27

gez.: 27.12.2001 Ho	Mst.: 1 : 1000
rev.:	Grösse A 4
File: Wado-Situation01.vsd	

Visualisierungen des Wettbewerbsprojekts W-Dream



Abbildung 1: Fassadenansicht von der Papiermühlestrasse

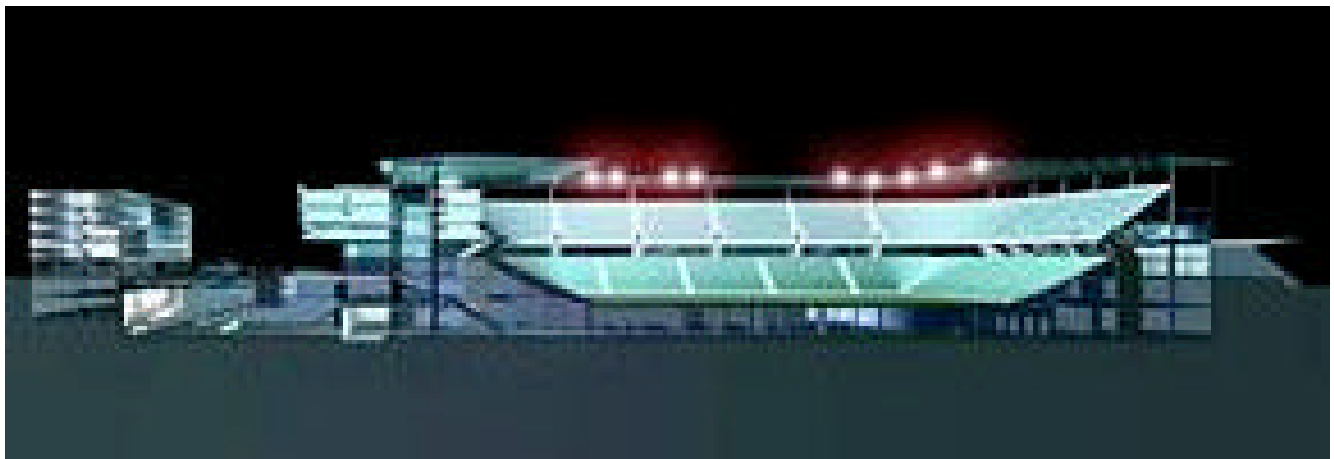
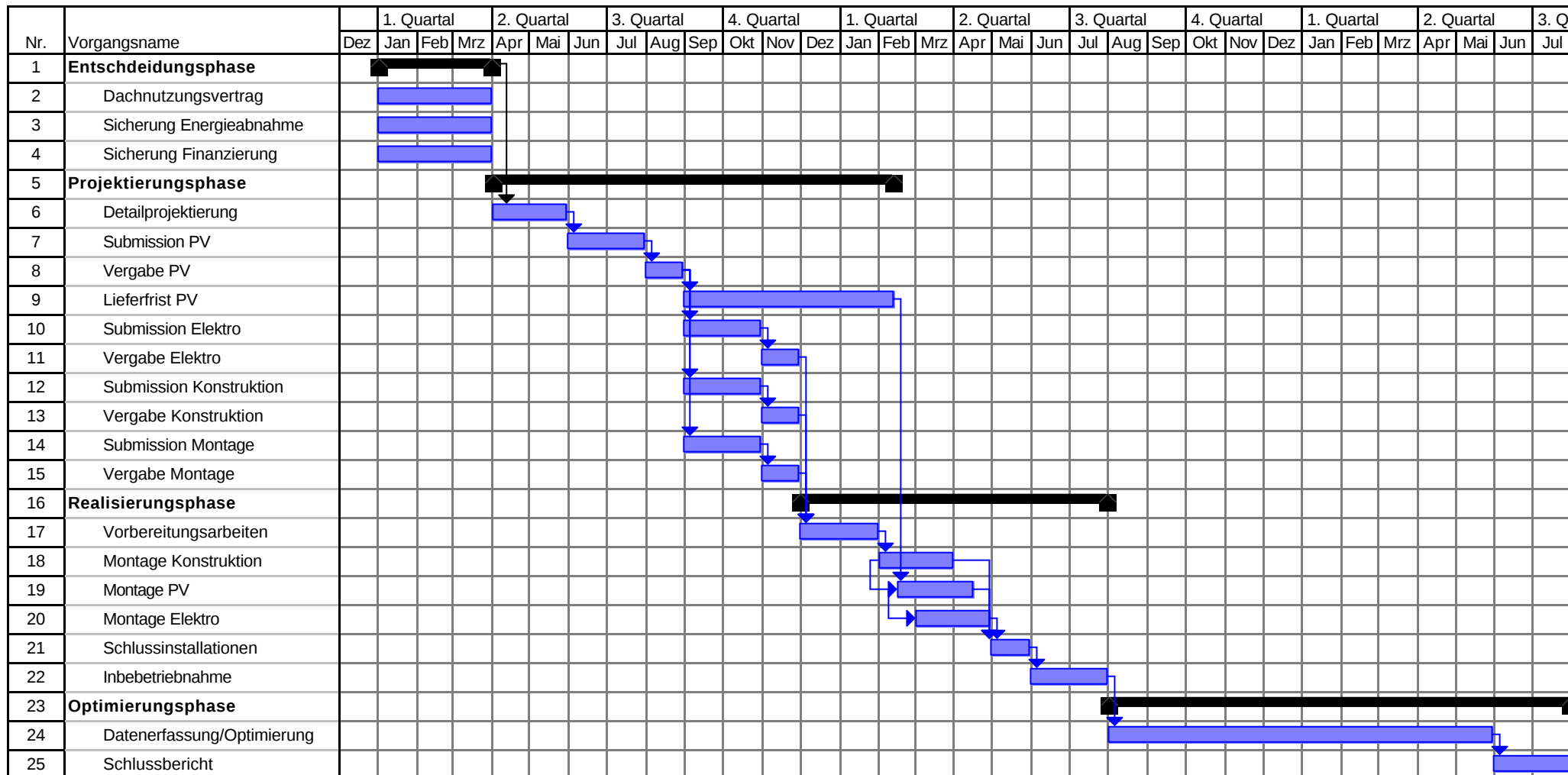


Abbildung 2: Schnitt quer durch das Stadion



Abbildung 3: Innenansicht des Stadions (Alle Bilder © by Architekturbüro Luscher, Lausanne)



Projekt: Zeitplan PV-Anlage Wankdor
Datum: Fr 04.01.02

Vorgang



Rollup-Vorgang



Externe Vorgänge



In Arbeit



Rollup-Meilenstein



Projekt-Sammelvorgang



Meilenstein



Rollup in Arbeit



Sammelvorgang



Unterbrechung



