

Untersuchung der Anwendungsmöglichkeiten von Photovoltaik an Gebäuden in Südkorea

**von der Abteilung Bauwesen der Universität Dortmund
genehmigte Dissertation**

**zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Ingenieurwissenschaften**

von

**Dipl.-Ing. Eung-Jik Lee
aus Südkorea**

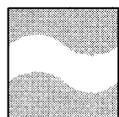
Tag der mündlichen Prüfung: 20.05.1999

Gutachter:

Prof. Dr. -Ing. H. F. O. Müller, Universität Dortmund

Prof. Dr. -Ing. E. R. Schramek, Universität Dortmund

**Lehrstuhl für Klimagerechte Architektur
Universität Dortmund**



Vorwort / Danksagung

Angesichts globaler Klimaänderungen im Zusammenhang mit der Verbrennung fossiler Brennstoffe bieten erneuerbare Energieträger eine interessante Perspektive der umweltschonenden Energieversorgung. Dazu zählt auch die Photovoltaik, welche die Möglichkeit der direkten und sauberen Wandlung von Sonnenstrahlung in Strom bietet. Durch eine Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle wird deren Anwendung für die Architektur interessant.

Die vorliegende Arbeit zur Anwendungsmöglichkeiten der Photovoltaik an Gebäuden in Südkorea entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als Doktorand und wiss. Mitarbeiter am Lehrstuhl für Klimagerechte Architektur der Universität Dortmund.

An erster Stelle gilt mein herzlicher Dank meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. H. F. O. Müller, für seine großzügige Förderung, seine Anregungen und seine unermüdlige Gesprächsbereitschaft.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Schramek bedanke ich mich für die freundliche Übernahme des Korreferats. Herrn Prof. Dr.-Ing. Schäfer danke ich für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Nicht zuletzt gilt mein aufrichtiger Dank meinen Kollegen, Herrn Dipl.-Ing. T. Pasquay und Herrn Dipl.-Ing. C. Nolte, für fruchtbare Diskussionen. Allen Mitarbeitern des Lehrstuhls, die durch ihre freundliche Verbundenheit zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, möchte ich an dieser Stelle herzlich danken.

Weiter bedanke ich mich bei meinem Freund in Korea, Kyung-Sun, der mir mit Informationsmaterial über exemplarische Gebäude in Korea (Pläne) große Hilfe geleistet hat.

Schließlich möchte ich aber noch meiner Frau Yeung-Gi, die für mich ihr eigenes Studium abgebrochen hat und diesen Weg mit mir gegangen ist, meiner Tochter You-Jin, meinem Sohn Seung-Hoon für das Verständnis und die Unterstützung besonders danken.

Meinen Eltern und Schwiegereltern ist diese Arbeit gewidmet.

Dortmund, im Mai 1999

Eung-Jik Lee

Kurzfassung

Diese vorliegende Arbeit geht auf die Frage ein, inwieweit die Gebäudeintegration der Photovoltaik in Südkorea unter Berücksichtigung der örtlichen Klimaverhältnisse die Architektur und den Stromverbrauch im Gebäudesektor beeinflussen können.

Südkorea ist ein Land, welches sich in den vergangenen 20 Jahren zu einer Industrialisation mit hohem Wirtschaftswachstum und dem entsprechenden Energieverbrauch entwickelt hat. Fast alle benötigten Energieträger müssen importiert werden (1993: 93%, 1997: 97%), weil das Land keine nennenswerte Energiequelle besitzt.

Die koreanischen Klimabedingungen sind zur photovoltaischen Stromerzeugung weitgehend geeignet. Aufgrund der topographischen Lage mit begrenzter Nutzfläche ist die Nutzung der PV-Technologie an Gebäuden in Korea besonders sinnvoll, da die vorhandene Gebäudehülle genutzt und wertvolle Flächen eingespart werden können. Wenn die in Gebäuden verwendete elektrische Energie, deren Verbrauch - besonders im Sommer zur Kühlung - zunimmt, von der dezentralen Energieversorgung mit gebäudeintegrierten PV-Anlagen teilweise abgedeckt wird, kann dies zu einer Stabilisierung des ganzen Energieversorgungssystems beitragen und darüber hinaus fossile Energieträger schonen und die Umweltbelastung reduzieren.

Diese Arbeit zeigt, daß die PV-Nutzung zur Stromerzeugung durch eine Übereinstimmung zwischen dem sommerlichen Strombedarf und dem hohen sommerlichen Strahlungsangebot zu einer besseren Versorgungssicherheit beitragen kann. Durch den hohen Anteil der direkten Einstrahlung ist die PV-Nutzung in Korea effizienter als Mitteleuropa. Bei der Anwendung an Gebäuden erhalten ganzjährig um 32° nach Süden geneigte Flächen eine maximale Sonneneinstrahlung. PV-Module werden an 3 exemplarischen Gebäuden als integrale Bestandteile für die architektonische Gestaltung in die Gebäudehülle eingesetzt und erfüllen die Funktion konventioneller Bauteile. Beim Einsatz als Sonnenschutzelemente tragen sie zusätzlich zur Verringerung der Kühllasten im Sommer bei. Durch die exemplarische Berechnung von Stromerträgen ist zu erkennen, daß die PV einen wesentlichen Beitrag zur Stromversorgung und gleichzeitig zur Abminderung der CO₂-Emission leisten kann, wenn sie großflächig in koreanischen Gebäuden installiert wird.

국문 요약

문명화된 현대산업사회의 필연적 에너지 소모는 경제성장과 삶의 질이 급격하게 향상된 한국에서도 예외는 아니다. 특히 현재의 화석에너지에 의존한 에너지 소비구조는 한국의 경우 97% 이상의 에너지를 수입하는 실정이다. 무엇보다 화석에너지 연소 시 발생하는 CO₂는 지구온난화의 주 요인으로 (50% 이상) '세계 기후 협약' 형태를 통해 미래 한국경제와 국가이익에 큰 영향을 미치리라 예상된다. 이에 한국의 총 에너지 소비 중 35%를 차지하는 건물분야의 막대한 에너지 소비량에 대해 공해의 요인이 없는 태양에너지의 이용중에서 태양 광을 직접 고압 전기에너지로 바꾸어주는 태양전지의 이용기술은 미래의 새로운 가능성으로 대두되고 있다. 특히 태양전지의 건축자재화를 통해 기존 건축물 외부에 부착시킴으로써 고가의 건축마감재를 대체시킬 수 있고 일반적으로 태양전지 설치에 따른 부가적 설치면적의 절약과 청정 에너지 획득에 따른 화석에너지 절약은 곧 자연환경보존과 직결된다. 건축적 측면에서는 태양전지의 독특한 색깔과 표면의 질감은 건축 디자인의 새로운 요소로서도 작용할 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 한국에서의 태양전지 건축물 적용 (BIPS - Building Integrated Phovoltaic System) 시의 기능적 요소와 건축적 요소를 한국 기후 상황 아래에서 비교 분석한후 현존 또는 계획된 3동의 한국건물을 선정, 실제 태양전지의 적용과정을 계획단계부터 고찰함으로써 한국에서의 BIPS 방향을 제시하고자 하였다. 아울러 적용된 시스템의 3D 시뮬레이션을 통해 사실적 상황을 시각화시키고 그 적용된 태양전지에 의한 한국에서의 가용 발전량을 계산하였다.

그 주요내용과 결과는 다음과 같다 :

- 태양전지 이용에 절대적 요소인 한국의 연간 전 일사량은 1314 kWh/m² 로 독일 및 중부유럽과 비교 시 25% 정도 높게 나타났다.
- 한국에서의 태양전지 적용 시 최대효율을 발휘할 수 있는 설치조건은 수평면과 32도 각도의 점 남향인 경우이다.
- 한국의 연간 전력소모 패턴과 전 일사량을 통한 전력발전 패턴이 유사하므로 그 반대현상을 가진 유럽의 경우보다 더욱 효율적이고 경제적인 이용이 가능하다.
- 태양전지(판)는 유리와 같은 특성으로서 건축자재 적용에 다양한 장점을 나타내며, 특히 푸른색 태양전지는 3D 시뮬레이션을 통해 건축디자인 요소로 잘 조화됨을 확인 할 수 있다.
- 한국의 맑고 직사광선이 강한 기후 특성아래에서 실외에 설치한 태양 전지틀 이용한 하절기 차광장치는 실내에 그늘을 제공할 뿐만 아니라 그에 따른 냉방 에너지 절약과 부가적 에너지획득 등의 다기능 효과가 있다.
- 태양전지틀 한국주택의 지붕 및 외벽에 장착함으로써 얻어지는 에너지량은 한국 주거분야 에너지 소비량을 상당부분 대체할 수 있는 수준이고 그에 따른 CO₂ 발생을 큰 폭으로 줄일 수 있음을 가용 발전량 계산을 통해 알 수 있다.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	3
1.2 Zielsetzung	4
1.3 Umfang und Aufbau der Arbeit	5
2 Grundlage der photovoltaischen Nutzung der Sonnenenergie	8
2.1 Sonnenstrahlung	8
2.2 Nutzung der Sonnenenergie	10
2.3 Photovoltaik.....	13
2.3.1 Entwicklungsgeschichte	13
2.3.2 Struktur und Funktion.....	13
2.3.3 Herstellung der Solarzellen.....	14
2.3.4 Herstellung der Module	18
2.3.5 Anwendungskriterien.....	21
2.4 PV-Integration am Gebäude.....	25
2.4.1 Betriebssysteme an Gebäuden.....	26
2.4.2 Möglichkeiten der PV-Integration an Gebäuden.....	28
2.4.3 Dachintegration der PV-Anlage.....	30
2.4.4 Fassadenintegration der PV-Anlage	33
2.4.5 Sonnenschutzintegration der PV-Anlage.....	34
3 Energetische Randbedingungen in Südkorea	37
3.1 Begriff.....	37
3.2 Entwicklung des globalen Energiebedarfs.....	38
3.3 Energieverbrauch nach verschiedenen Sektoren.....	40
3.3.1 Elektrizität als Energiequelle	41

3.4 Trend des Stromverbrauchs	43
3.4.1 Strombedarf zur sommerlichen Kühlung	48
3.4.2 Strompreis	50
3.5 Energieverbrauch und Umweltbelastung	51
3.6 Schlußfolgerung	54
4 Das Potential der photovoltaischen Stromerzeugung in Südkorea	55
4.1 Geographie	55
4.2 Geographische- und topographische Lage.....	56
4.3 Meteorologische Lage.....	57
4.4 Koreanische Klimabedingungen.....	58
4.4.1 Globalstrahlung	59
4.4.2 Sonnenscheindauer	64
4.4.3 Sonnenstand	65
4.4.4 Temperatur und Niederschlag	66
4.4.5 Windverhältnis	68
4.5 Vergleichende Analyse der Klimadaten.....	69
4.5.1 Globalstrahlung	69
4.5.2 Vergleich der Sonnenscheindauer	70
4.5.3 Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit.....	71
4.6 Charakteristische Bauwerkstypen in Korea.....	73
5 Beispiele für die gestalterische und konstruktive Integration von PV ..	75
5.1 Begriff.....	75
5.2 Umsetzung an einem bestehenden Bürogebäude	77
5.2.1 Gebäudebeschreibung	77
5.2.2 Realisierung.....	78
5.2.2.1 Variante 1	80
5.2.2.2 Variante 2	85
5.2.2.3 Variante 3	88

5.3 Realisierung eines geplanten Verwaltungsgebäude	90
5.3.1 Gebäudebeschreibung	90
5.3.2 Realisierung.....	91
5.3.2.1 Variante 1	91
5.3.2.2 Variante 2	97
5.3.2.3 Variante 3	102
5.4 Umsetzung an einem bestehenden Apartmentgebäude	105
5.4.1 Gebäudebeschreibung	105
5.4.2 Ausführung	107
5.4.2.1 Variante 1	107
5.4.2.2 Montage auf dem Dach.....	110
6 Exemplarische Berechnung der PV-Stromerträge.....	116
6.1 Begriff der Energieausbeute.....	116
6.2 Stromertrag	119
6.2.1 Bürogebäude, Variante 1	119
6.2.2 Verwaltungsgebäude, Variante 1	120
6.2.3 Verwaltungsgebäude, Variante 2	121
6.2.4 Verwaltungsgebäude, Variante 3.....	122
6.2.5 Apartmentgebäude, Variante 1	124
6.3 Berechnung möglicher PV-Stromerträge bei Wohngebäuden.....	125
7 Ausblick und weiteres Vorgehen.....	127
8 Schlußfolgerungen	130
Literaturverzeichnis, Quellennachweis.....	133
Anhang	
Lebenslauf	

1 Einleitung

Für unsere moderne Industriegesellschaft ist die Versorgung mit Energie von lebenswichtiger Bedeutung. In den letzten 50 Jahren hat sich der Energieverbrauch weltweit mehr als vervierfacht [1][2], wobei die Entwicklung des globalen Energieverbrauches durch das wirtschaftliche Wachstum der Industrie dominiert wird. Auf längere Sicht sind jedoch zwei andere bedeutsame Ursachen für eine Fortsetzung der Zunahme des Energieverbrauches vorhanden: Die globale Zunahme der Bevölkerung und die berechnete Forderung nach einer deutlichen Verbesserung der Lebensbedingungen für große Teile der Weltbevölkerung (Abb.1.1). Diese Tendenz wird in den Entwicklungs- und Schwellenländern zunehmend stärker.

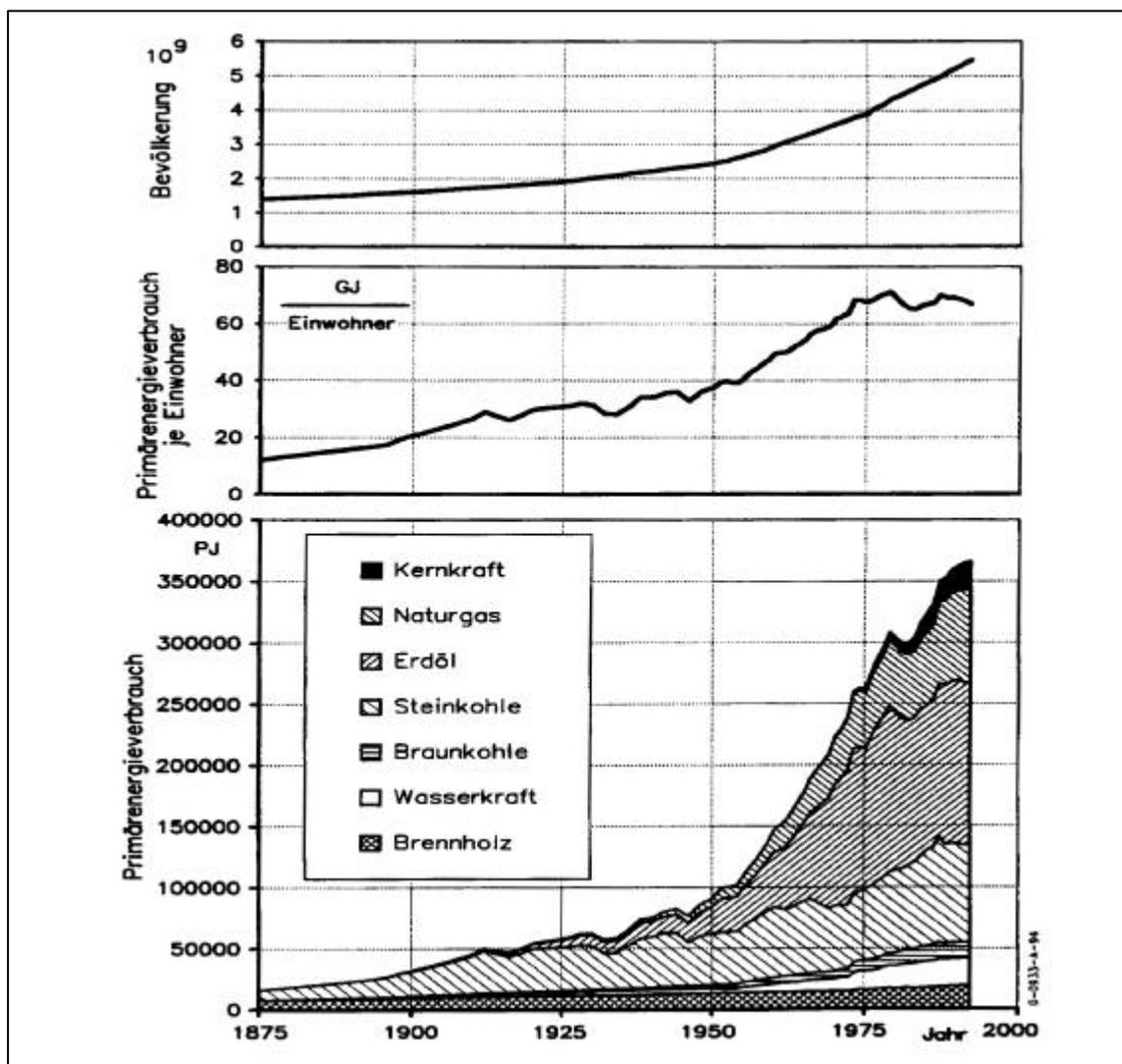


Abb. 1.1: Entwicklung von Primärenergieverbrauch und Bevölkerung der Welt [3]

Das heutige System der Energieversorgung der Welt, das stark von fossilen Energieträgern abhängt, ist aufgrund der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen [4] für rund die Hälfte des Treibhauseffekts [5][6][7] verantwortlich [1]. Die zu erwartende Verknappung, und die ungleiche Verteilung der Energiequellen geben Anlaß zu großer Besorgnis auf internationaler Ebene.

Zur Verwirklichung eines weltweit gehobenen Lebensstandards ist die technische Energienutzung eine Voraussetzung. Gleichzeitig gefährden jedoch die damit verbundenen Umweltprobleme unsere Lebensqualität.

Eine Prognos-Studie besagt, daß sich der Energiebedarf weltweit bis zum Jahr 2020 verdoppeln könnte, und daß Südkorea, das in dieser Arbeit behandelt wird, zu den fünf größten der Verbraucherländern gehören wird [8].

Südkorea hat sich in den vergangenen 20 Jahren zu einer Industrienation mit hohem Wirtschaftswachstum entwickelt. Seit einigen Jahren müssen fast alle benötigten Energieträger (1993: 93%, 1997: 97%) importiert werden [9]. Durch seine geographische Lage als Halbinsel und seine politische und wirtschaftliche Abschottung von Nordkorea (s. Kapitel 4) gibt es keine Möglichkeit der Energieversorgung durch Nachbarländer. Eine zuverlässige Energieversorgung ist für Korea von besonderer Bedeutung und eng mit den Interessen des Landes verbunden.

Der Anteil des Energieverbrauches im Gebäudesektor, in dem die Menschen ihre meiste Zeit verbringen, liegt weltweit bei 30% des Gesamtenergieverbrauchs. Die Verbrauchsquote dieses Bereiches in Südkorea liegt mit 35% überdurchschnittlich hoch [10]. Der explosionsartig zunehmende Stromverbrauch durch die sommerliche Gebäudedekühllast stellt durch die rasche Verbreitung von Klimaanlage jährlich einen neuen Rekord auf und ist für die instabile Stromversorgung verantwortlich (s. Kapitel 3).

Es ist eine Erfordernis unserer Zeit, die zukünftige Energieversorgung unter Beachtung der Wechselwirkungen zwischen wirtschaftlicher Entwicklung und Energieverbrauch, sowie Energieverbrauch und Umweltbelastung, sicherzustellen. Die Nutzung der Sonnenenergie bietet sich hier als Lösung an. Der Photovoltaik-Technologie kommt für das zukünftige Energiesystem unter dem Gesichtspunkt des sparsamen und rationellen Einsatzes von Ressourcen eine besondere Bedeutung zu.

1.1 Problemstellung

Nach der Ölkrise wurde in Korea mit der Entwicklung der Solartechnik begonnen. Die unter diesen Oberbegriff fallende thermische Sonnenenergienutzung mit passiver Heizung und Warmwasserbereitung in Gebäuden hat bereits eine weite Verbreitung gefunden. Seit einigen Jahren hat die Photovoltaik (PV) - die direkte Umwandlung von solarer Strahlung in Strom - mit ihren innovativen Möglichkeiten als Energiequelle Aufmerksamkeit erregt. Die PV-Technologie wurde in Korea bei staatlichen Versuchsprojekten für die Stromversorgung von Leuchttürmen eingeführt, und zur Zeit werden einige Inseln von PV-Anlagen mit Strom versorgt. Allerdings lag die Summenleistung Ende 1993 nur bei etwa 1.630 kWpⁱ [11].

Aufgrund der kleinen Nutzfläche bedingt durch die topographische Lage Koreas, 70% des Landes sind schlecht zugängliche Gebirgsregionen, ist es grundsätzlich unmöglich, die zur Aufstellung von PV-Generatoren benötigten Betriebsflächen zusätzlich zur Verfügung zu stellen.

Daher ist die PV-Integration in Gebäudehüllen, d.h. Dächern und Fassaden, besonders sinnvoll, weil durch die Nutzung vorhandener Gebäudehüllen die wertvolle Nutzfläche des Landes und zusätzliche Konstruktionskosten für PV-Anlagen eingespart werden können [12].

Weiterhin kommt die PV-Technologie, deren Entwicklung zur Zeit weltweit aufmerksame Beobachtung verdient, den Bemühungen um eine regenerative Energienutzung für die Stromerzeugung in besonderem Maße entgegen. Durch den Einsatz von Solarzellen ist es möglich, hochwertigen Strom aus der Sonne zu gewinnen.

Diese zukunftsorientierte PV-Technologie hat sich in letzten 10 Jahren in verschiedenen Anwendungsbereichen entwickelt, wobei das Gebiet der gebäudeintegrierten PV-Anlagen am stärksten expandiert. Dadurch ergibt sich auch eine neue Aufgabenstellung für die Architektur. Der Architekt ist herausgefordert, die innovative und umweltschonende Technologie Photovoltaik konstruktiv, funktional und gestalterisch in die Gebäudehülle zu integrieren.

ⁱ Wattpeak (Wp): Maximale Leistung unter Standard-Testbedingungen (Bei 1000 W/m² und 25°C, AM 1,5)

1.2 Zielsetzung

Die hier vorliegende Arbeit behandelt die Gebäudeintegration von Photovoltaik in Korea. Untersucht werden die Möglichkeiten eines energetisch sinnvollen Einsatzes von PV-Modulen unter Berücksichtigung der koreanischen Klimabedingungen, sowie typischer Gebäude- und Bebauungsformen.

Die koreanischen Klimabedingungen sind für die Stromerzeugung mit Hilfe der PV im Vergleich zu den Bedingungen in Mitteleuropa deutlich besser. Wenn die in Gebäuden verwendete elektrische Energie, deren Verbrauch derzeit weiter zunimmt, von der dezentralen Energieversorgung mit gebäudeintegrierten PV-Anlagen teilweise abgedeckt werden könnte, kann dies zur Sicherung des ganzen Energieversorgungssystems beitragen, und darüber hinaus fossile Energieträger schonen und die Umweltbelastung reduzieren.

Bei der architektonischen Umsetzung der PV-Technologie ist es notwendig, funktionale, konstruktive und ästhetische Anforderungen zu berücksichtigen. Eine optimale PV-Integration sieht vor, daß die PV-Module neben ihrer eigentlichen Funktion als Stromerzeuger die herkömmliche Funktion von Wetter-, Wärme-, Feuchtigkeits-, Schall- und Brandschutz übernehmen können [13].

Es ist Ziel dieser Arbeit, einen Überblick über die Nutzung von PV-Modulen im Hinblick auf ihre Funktion als Bauelement zu geben und die Realisierung von individuellen Lösungen an koreanischen Gebäuden darzustellen, um die Wechselwirkung zwischen dem funktionalen Aspekt der PV-Module als Stromerzeuger und dem ästhetischen Aspekt als Bauelement zu analysieren. Dadurch sollen die effektiven und zweckmäßigen Möglichkeiten der PV-Integration an den Gebäuden in Korea im Einklang mit den örtlichen Anforderungen gezeigt werden. Die Ergebnisse sollen dort zur PV-Planung und PV-Verbreitung dienen.

1.3 Umfang und Aufbau der Arbeit

Das Thema dieser Arbeit ist die Integrationsmöglichkeit von PV an Gebäuden, wobei folgende Teilaufgaben und Daten hier explizit untersucht werden sollen.

1. Die in dieser Arbeit angewandten koreanischen Energie- und Klimadaten beschränken sich auf Südkorea. Die gemittelten Klimadaten wurden an 16 Wetterstationen in 13 Jahren erhoben.
2. Die physikalischen und herstellungstechnischen Randbedingungen von PV werden in dieser Arbeit nicht vertieft, sondern zum besseren Verständnis als Grundlage, mit dem Hinweis auf umfangreiche Fachliteratur vorgestellt.
3. Die exemplarische gestalterische und konstruktive Integration wird auf eine Auswahl koreanischer Gebäude, hauptsächlich Bürogebäude und ein Apartmenthaus, beschränkt. Dies hat folgende Gründe:
 - Die großen Außenflächen mehrgeschossiger Bürogebäude erleichtern die Installation einer größeren PV-Anlage. Die, überwiegend für den Einsatz in Einfamilienhäusern entwickelten, kleinen PV-Generatoren mit ihrer speziellen Technologie werden hier nicht näher untersucht.
 - Bei reger Bautätigkeit im Bürobau ist die Investitionsmöglichkeit im Zuge der wirtschaftlichen Entwicklung sehr groß.
 - Die Vorbildfunktion ist beim Bürogebäude erfolgversprechend, weil sich das Objekt publikumswirksam im Ballungszentrum befindet.
 - Der Stromverbrauch in Geschäfts- und Bürogebäuden ist hoch. Ein weiterer Anstieg wird für Korea prognostiziert.
 - Die Apartmentblocks, welche maßgebend für die Verbesserung und Änderung der Wohnkultur in Korea seit 20 Jahren geworden sind, sind bei der Bevölkerung sehr beliebt, und die Tendenz für die Zukunft ist weiter steigend.
4. Wirtschaftliche Aspekte der PV-Anwendung im heutigen Korea sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Trotz der starken Expansion der PV-Anwendung im Zuge der technischen Entwicklung und der gezielten öffentlichen Förderung ist der Preis für Solarzellen und ihre Anwendungen nicht rentabel. Allerdings ist vorauszusehen, daß die Wirtschaftlichkeit der PV aufgrund der technischen Weiterentwicklung und zunehmender Nachfrage in Zukunft gegeben sein wird.

5. Die dreidimensionale fotorealistische CAD-Visualisierung der PV-Integration an Architekturbeispielen mit dem Programm Allplan ist ein weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit .

Diese Arbeit ist folgendermaßen aufgebaut:

Kapitel 1 bildet die Einleitung der Dissertation, in der das Thema, die Problemstellung, die Zielsetzung und der Arbeitsumfang vorgestellt werden.

Kapitel 2 erläutert die Sonnenenergienutzung, welche als regenerative Energieform das heutige Energiesystem mit seinen fossilen Energieträgern ergänzen kann. PV als Grundlage dieser Technologie wird vorgestellt. Die technischen und funktionellen Anforderungen für die PV-Integration in die Gebäudehülle werden untersucht.

Kapitel 3 untersucht die energetischen Randbedingungen in Korea. Dabei wird der Strukturwandel im Energiesektor verfolgt, der mit der großen Zunahme des Energieverbrauchs zusammenhängt. Durch die detaillierte Untersuchung des Stromverbrauchs nach Jahres-, Wochen- und Tageszeit wird die Möglichkeit der Stromversorgung von PV während der Zeit maximaler Last im Netz aufgezeigt.

Kapitel 4 analysiert die koreanischen Klimabedingungen, als wichtigsten Faktor für die dortige PV-Anwendung. Es wird durch die Bewertung von koreanischen Klimadaten, wie Globalstrahlung, Temperatur, Niederschlagsmenge und Feuchtigkeit versucht, ein Optimum für die Ausrichtung von PV-Anlagen in Korea zu finden. Danach werden Klimadaten von Korea, Deutschland und Mitteleuropa gegenübergestellt, um die Vor- und Nachteile für die Anwendung von PV aufzuzeigen.

Kapitel 5 führt Integrationsbeispiele mit allen erforderlichen Informationen und Kennwerten an den ausgewählten koreanischen Gebäuden vor und visualisiert diese Beispiele in 3D-Simulationen. Es wird angestrebt, durch diese hypothetische Planung für existierende Gebäude bzw. Gebäudeentwürfe, eine realistische Integrationsmöglichkeit und den ästhetischen Einklang zwischen Gebäude und der Umgebung darzustellen.

Kapitel 6 berechnet die Stromertäge der in Kapitel 5 ausgeführten PV-Anlagen unter koreanischen Klimabedingungen. Das Ergebnis zeigt den jährlichen Stromertrag, den Ertrag pro Quadratmeter und die dadurch verringerte CO₂-Emission.

Kapitel 7 beschreibt die Aussicht für die Zukunft der PV und weitere Aufgaben in diesem Bereich für Korea.

Kapitel 8 faßt die Ergebnisse der Dissertation zusammen.

Kapitel 9 enthält eine Liste der angewandten bzw. zitierten Literatur.

Kapitel 10 umfaßt den Anhang der Dissertation.

2 Grundlagen der photovoltaischen Nutzung der Sonnenenergie

Seit dem Beginn der Geschichte der Menschheit ist die Sonne die wichtigste und für menschliche Zeitbegriffe unerschöpfliche Energiequelle für unsere Erde. Der Sonnendurchmesser beläuft sich auf $1,390 \times 10^6$ km und entspricht damit etwa der Strecke von 109 aneinandergereihten Erdkugeln. Die Sonne wird gebildet durch einen Kern, von mehreren gasförmigen Schichten umgeben. Sie besteht vorwiegend aus Wasserstoff (75%) und Helium (23%) [14] [15].

Die Temperatur der Sonne beträgt in ihrem Kern etwa 20 Millionen °C, an der Oberfläche, der Photosphäre, sind es 5.700 bis 6.000°C [16]. Sie erreicht mit einer Leistung von $1,7 \times 10^{14}$ kW die Oberfläche der Erdkugel. Das entspricht etwa dem 10.000-fachen des menschlichen Primärenergieverbrauchs [17]. Die in nur 37 Minuten eingestrahlte Solarenergie entspricht dem gesamten derzeitigen Weltenergiebedarf eines ganzen Jahres [15]. Nur ein geringer Teil dieser Energie erreicht als solare Strahlung die Erdoberfläche (s. Abb. 2.1). Ein Teil dieser Energie ist durch natürliche Umwandlungsprozesse in Form von Wind, Wasser, Gezeiten und Biomasse regenerativ nutzbar. Abbildung 2.1 zeigt die prozentualen Anteile am Energiefluß der Erde in Kilowattstunden pro Stunde.

2.1 Sonnenstrahlung

Der Träger der Sonnenenergie ist die Solarstrahlung, die sich aus den sichtbaren Lichtstrahlen und den nicht sichtbaren Ultraviolett- und Infrarotstrahlen zusammensetzt. Die sichtbare Strahlung stellt einen wichtigen Teil dar, weil sie mit einer Wellenlänge von 0,38 bis 0,78 μm die Atmosphäre durchdringt. Die nicht sichtbaren kurzwelligen ($< 0,38 \mu\text{m}$) ultravioletten und langwelligen ($> 0,78 \mu\text{m}$) infraroten Strahlungsanteile werden von der Atmosphäre absorbiert und reflektiert [18][19].

Im sichtbaren Wellenlängenbereich von 0,38 bis 0,78 μm liegt das Intensitätsmaximum der Sonnenstrahlung. Abbildung 2.2 stellt die Energieverteilung der Sonnenstrahlung auf der Erde dar.

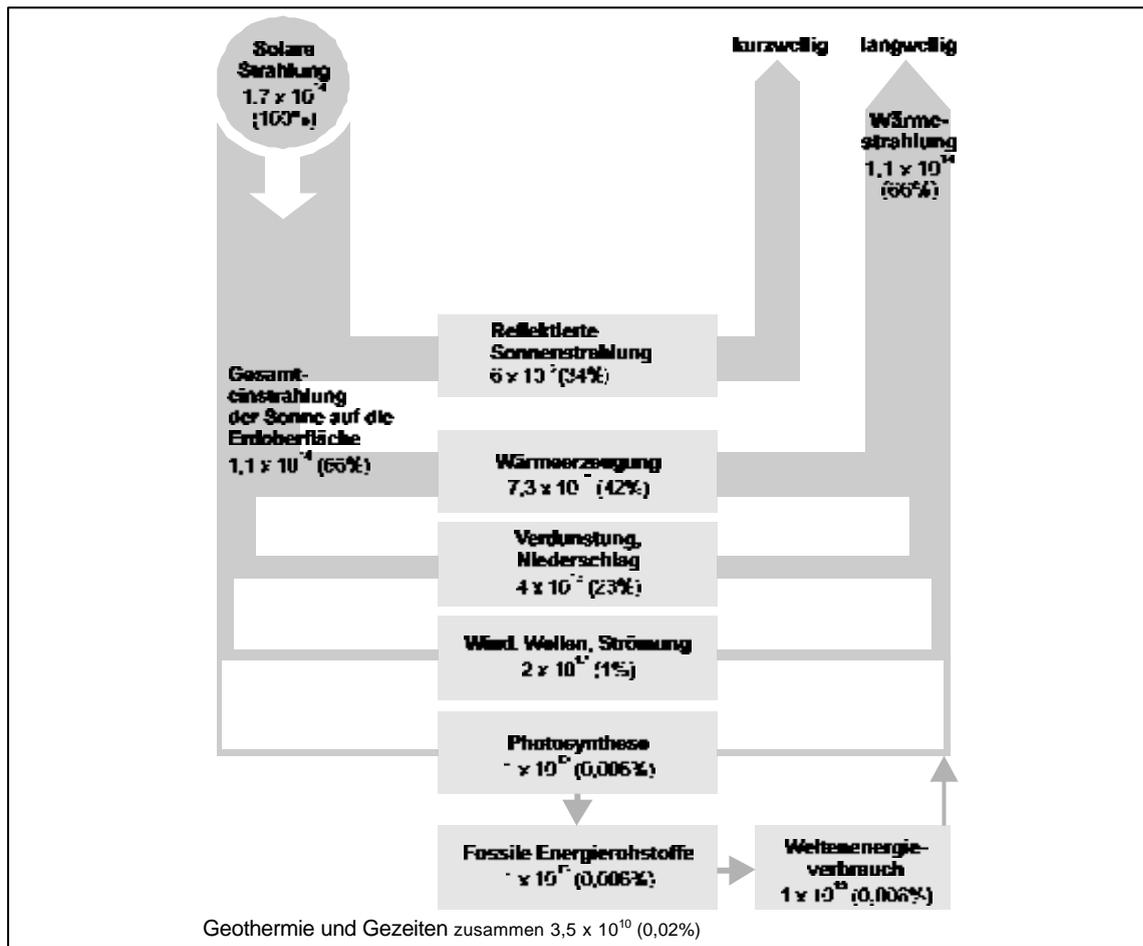


Abb. 2.1: Energiefluß der Erde [20]

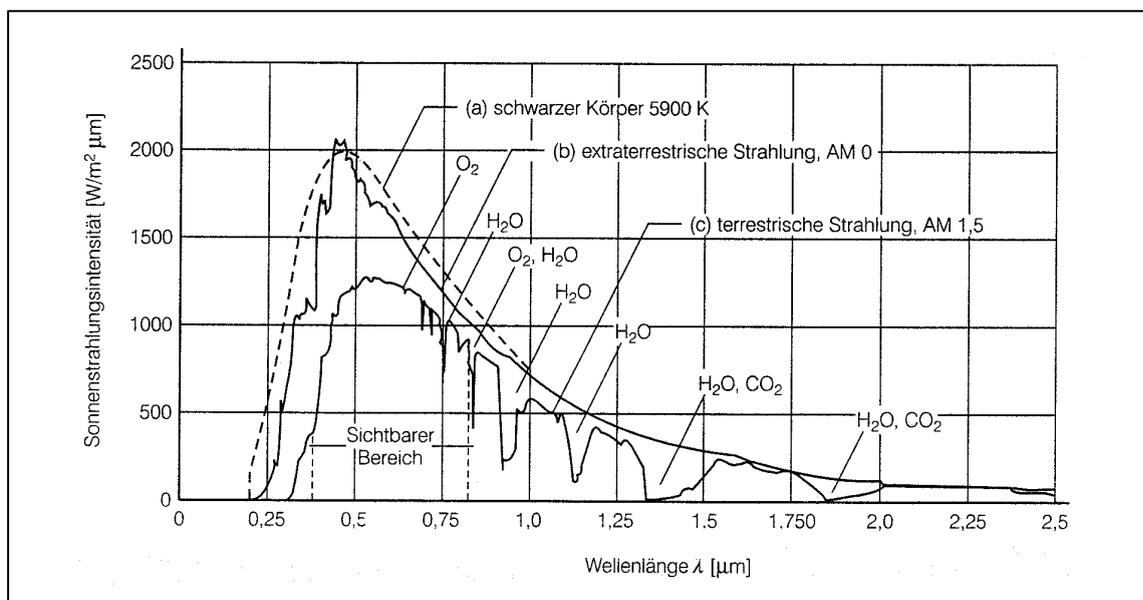


Abb. 2.2: Spektrale Abhängigkeit der Strahlungsintensität von der Wellenlänge des Sonnenlichts [14]

Am Außenrand der Erdatmosphäre wird eine Strahlungsleistung von etwa $1,35 \times 10^3$ Watt pro Quadratmeter (W/m^2) gemessen [vgl. 21]. Man bezeichnet diesen Wert als Sonnenkonstante. Auf dem Weg durch die Atmosphäre wird die direkte Sonnenstrahlung durch Reflexion, Absorption, und Streuung in diffuse Strahlung umgewandelt. Bei klarem Himmel und senkrecht stehender Sonne werden am Tage in Meereshöhe je Quadratmeter ca. 1.000 Watt erreicht, also etwa 70 % der am Außenrand der Erdatmosphäre auftreffenden Strahlung. Abbildung 2.3 stellt die Filterfunktion der Atmosphäre schematisch dar, und veranschaulicht den Übergang von der extraterrestrischen in die Globalstrahlung auf der Erdoberfläche.

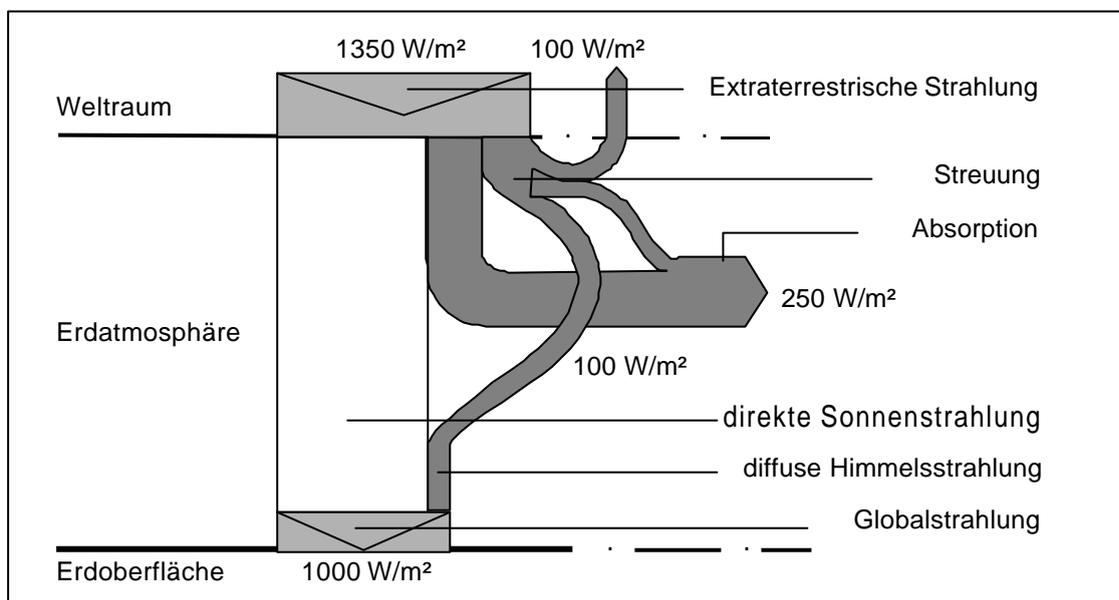


Abb. 2.3: Sonneneinstrahlung auf der Erde [nach 22]

2.2 Nutzung der Sonnenenergie

Obwohl es zahlreiche Definitionen der in der Sonnenenergienutzung verwendeten Begriffe gibt, werden Solaranwendungen im Gebäudereich primär nach folgenden beiden Kriterien unterschieden [vgl. 23].

- *aktive- und passive Nutzung*

Eine aktive Nutzung ist immer dann gegeben, wenn zur Energiegewinnung und -verteilung technische Geräte und Systeme, z. B. Solarzellen oder Windrotoren, installiert und betrieben werden. Im Gegensatz dazu erschließt die passive Nutzung

solares Energiepotential ausschließlich durch bauliche Maßnahmen und architektonische Gestaltung unter Verzicht auf zusätzliche technische Aus- bzw. Nachrüstung von Gebäuden [24].

- *direkte- und indirekte Nutzung*

Es hängt von der Art und Intensität der auftretenden Sonneneinstrahlung ab, ob die technische Lösung die Strahlungsenergie direkt, d.h. photovoltaisch, in elektrischen Strom umwandelt oder indirekt, d.h. durch Überführung in eine andere Energieform, z. B. Wärme, nutzt.

Die oben erläuterten Alternativen sind aus der folgenden Darstellung ersichtlich:

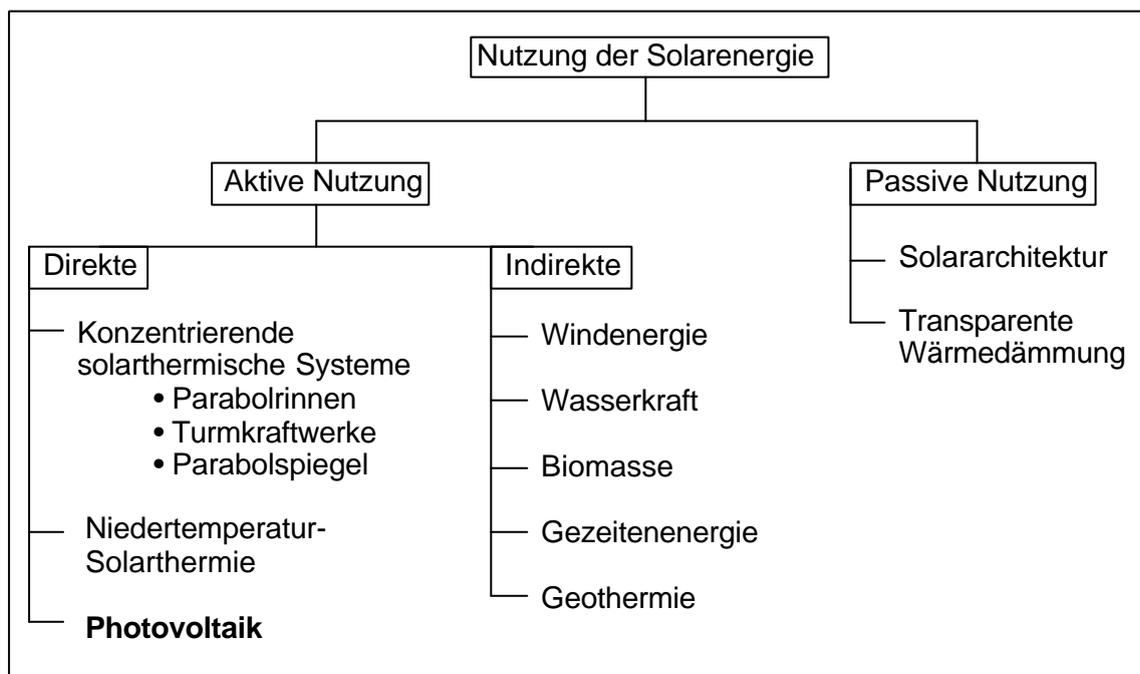


Abb. 2.4: Möglichkeiten der Sonnenenergienutzung [14]

Die örtliche Strahlungsintensität ist von der Jahreszeit, der geographischen Lage und von den Wetterbedingungen abhängig. Die Sonnenstrahlung erreicht bis 1.000 W/m^2 an einem klaren Sommertag, jedoch nur 100 W/m^2 an einem trübem Wintertag. Die Abbildung 2.5 und die Tabelle 2.1 verdeutlichen diese Abhängigkeiten.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die aktive Nutzung der Sonnenenergie durch den Einsatz von Solarzellen näher betrachtet.

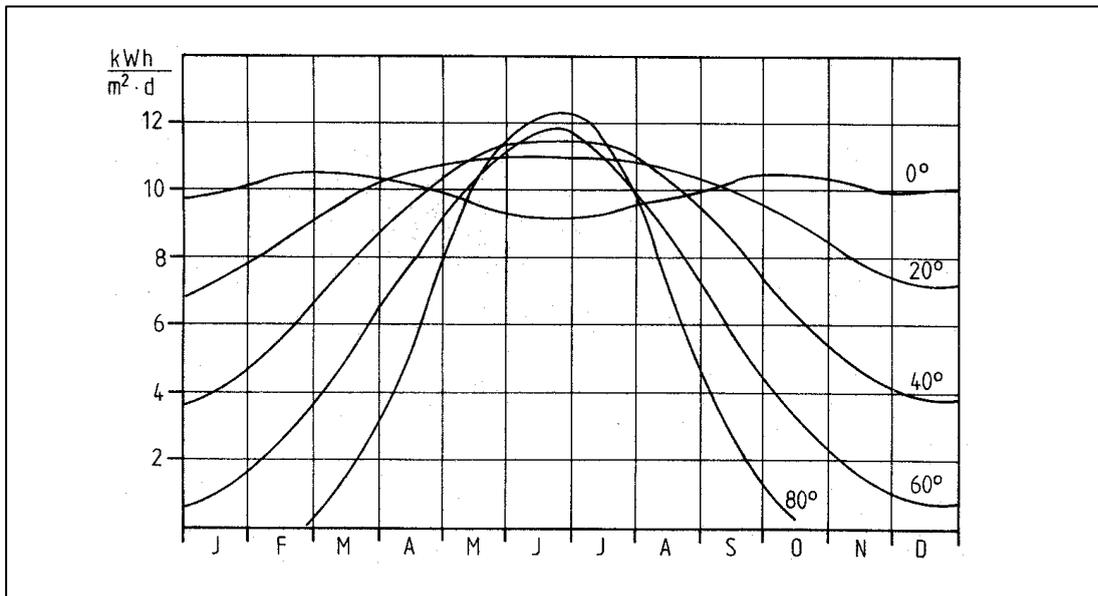


Abb. 2.5: Jahrgang der Tagessummen der Strahlungsleistung der Sonne in verschiedenen Breiten [25]

Tab. 2.1: Wetterverhältnisse und Strahlungsleistung [26]

Wetter	Globalstrahlung
Klarer blauer Himmel	1.000 W/m ²
Sonne bricht durch	600 W/m ²
Sonne als weiße Scheibe	300 W/m ²
trüber Wintertag	100 W/m ²
Regen	ca. 30 W/m ²

2.3 Photovoltaik

Mit dem Begriff „Photovoltaik (PV)“ wird die direkte Umwandlung von eingestrahltm Sonnenlicht in elektrischen Strom mittels Solarzellen bzw. Solarmodulen bezeichnet. Inzwischen sind weitere, nach verschiedenen Prinzipien arbeitende Lösungen entwickelt worden, um Sonnenstrahlung in Strom umzuwandeln. Dieser Abschnitt beschränkt sich auf die Photovoltaik.

2.3.1 Entwicklungsgeschichte

Der photovoltaische Effekt ist schon seit mehr als 150 Jahren bekannt. Als erste technische Anwendung setzte die Raumfahrt die PV-Technik ab der Mitte der 50er Jahre zur Stromversorgung von Satelliten ein und erzielte damit eine enorme Leistungssteigerung.

Die Anwendung in der Stromerzeugung auf der Erde konnte ausgeweitet werden, da durch intensive Entwicklungsarbeit die technischen Verfahrenskosten für die Gewinnung und Weiterverarbeitung des Rohstoffes Silizium gesenkt wurden [27].

Nach der Ölkrise in den 70er Jahren hat das Interesse an photovoltaischer Stromerzeugung deutlich zugenommen. Bevorzugte Anwendung in dieser Zeit war die dezentrale elektrische Versorgung von Geräten und Anlagen in abgelegenen Gebieten, wie Schutzhütten oder Ferienhäusern.

Seit Beginn der 90er Jahre beziehen sowohl Architekten als auch Bauherren Photovoltaische Systemanwendungen verstärkt in gestalterische und wirtschaftliche Überlegungen ein. Die Antwort auf die gestiegenen Ansprüche eines umwelt- und ressourcenschonenden, d.h. "ökologischen Bauens", findet sich in neuen Konzepten, wie der "intelligente Fassade", gestützt auf einen aufgeschlossenen und optimistischen Umgang mit innovativen Technologien.

2.3.2 Aufbau und Wirkungsprinzip

Der Grundbaustein der Photovoltaik ist die Solarzelle. Solarzellen werden bisher fast ausschließlich aus Silizium (Si) hergestellt. Silizium ist eines der am häufigsten vorkommenden Materialien auf der Erde und wird heute in großindustriellen Verfahren gewonnen.

Aufbau:

Die Solarzelle besteht im wesentlichen aus zwei sehr dünnen Schichten. Dabei handelt es sich um zwei unterschiedlich dotierte Schichten, die n-Schicht (n-leitende) und p-Schicht (p-leitende). Um den in den Schichten erzeugten Strom abzuleiten, sind an der oberen Seite netzartige Metallkontakte und an der unteren Seite eine durchgehende Metallschicht angebracht. Gegen Reflexionsverlust wird auf die Oberfläche eine zusätzliche Antireflexschicht aufgebracht. In Abbildung 2.6 ist der Schichtaufbau einer Solarzelle schematisch dargestellt.

Funktionsweise:

Das Grundmaterial Silizium der Solarzelle eignet sich als Halbleiter, d.h. seine Leitfähigkeit liegt zwischen der von Metallen und Isolatoren. Durch Energiezufuhr bei Einstrahlung von Licht werden Elektronen aus ihrer Bindung herausgelöst, binden sich aber innerhalb von kürzester Zeit neu. Um die Energie, die beim Herauslösen freigesetzt wird, nutzen zu können, muß die Neubindung verhindert werden. Dies geschieht durch die Ausbildung einer Raumladungszone. Zwei Siliziumschichten (pn) mit unterschiedlichen elektrischen Ladungen werden ausgebildet. Eine Schicht wird positiv (p, Bor), die andere negativ (n, Phosphor) dotiert. Durch Lichteinstrahlung entstehen nun Elektronen-Loch-Paare. Diese werden durch die Raumladung getrennt und es entsteht eine meßbare Spannung von etwa 0,5 - 0,6 Volt [27][28][29].

Beim Schließen des Stromkreises fließt ein Photostrom von maximal 2 bis 3 Amp. Die Elektronen fließen über den Metallkontakt auf der Oberseite über z.B. angeschlossene Geräte wieder zurück zum Kontakt auf der Siliziumrückseite, um sich dann neu zu binden. Dieser Prozeß dauert an, solange Licht auf die Zelle trifft (s. Abb. 2.6-1). Nach diesem Prinzip funktionieren die marktüblichen Solarzellen, wobei Material und Herstellung unterschiedlich sein können. Den Zusammenhang zwischen solarer Einstrahlung und Spannungsleistung einer Zelle zeigt Abbildung 2.6-2.

2.3.3 Herstellung der Solarzelle

Die Solarzelle besteht aus einer sehr dünnen Kristallscheibe, deren Ausgangsmaterial Quarzsand ist. Die Gewinnung von Silizium stellt beim derzeitigen Entwicklungsstand kein Problem mehr dar. Handelsübliche Solarzellen werden als monokristalline-, polykristalline- und amorphe Solarzellen hergestellt, wie in Abbildung 2.7 zu sehen ist. Aus diesem Grund konzentriert sich diese Vorstellung hier auf diese drei Solarzellen.

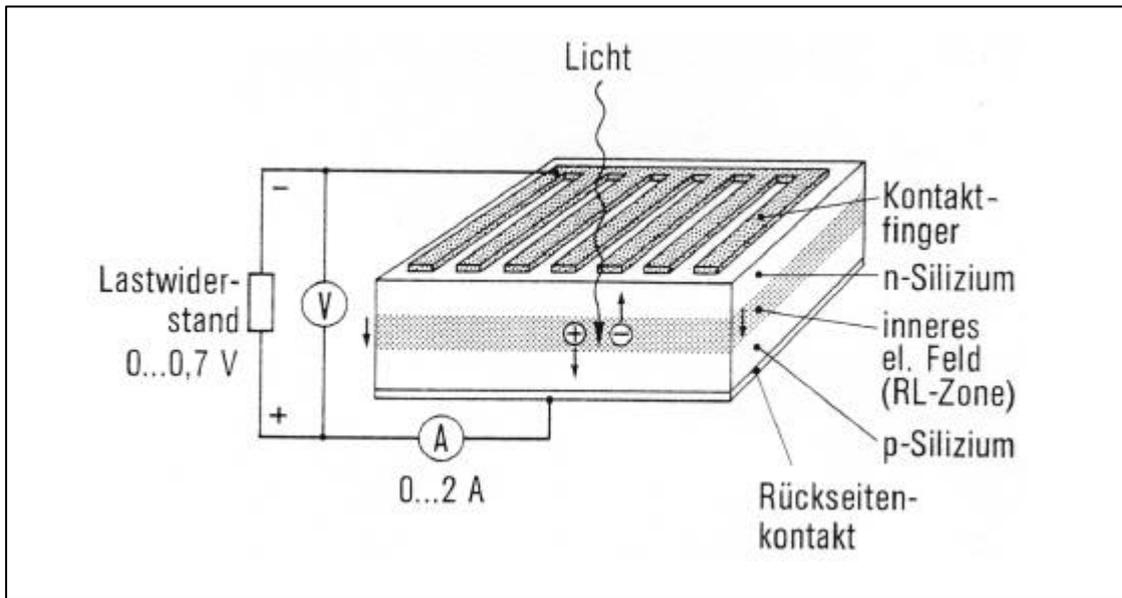


Abb. 2.6-1: Aufbau und Funktion einer Solarzelle [23]

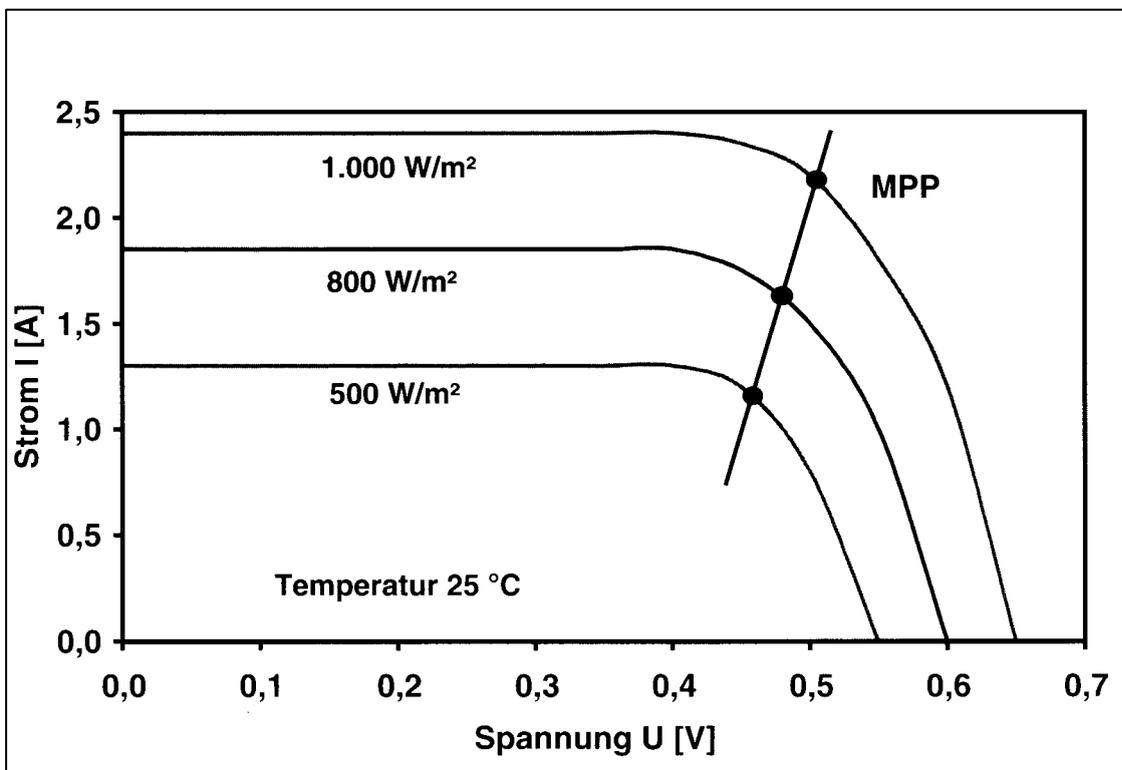


Abb. 2.6-2: Strom-Spannungskennlinien einer Solarzelle bei verschiedenen solaren Strahlungsdichten [30]

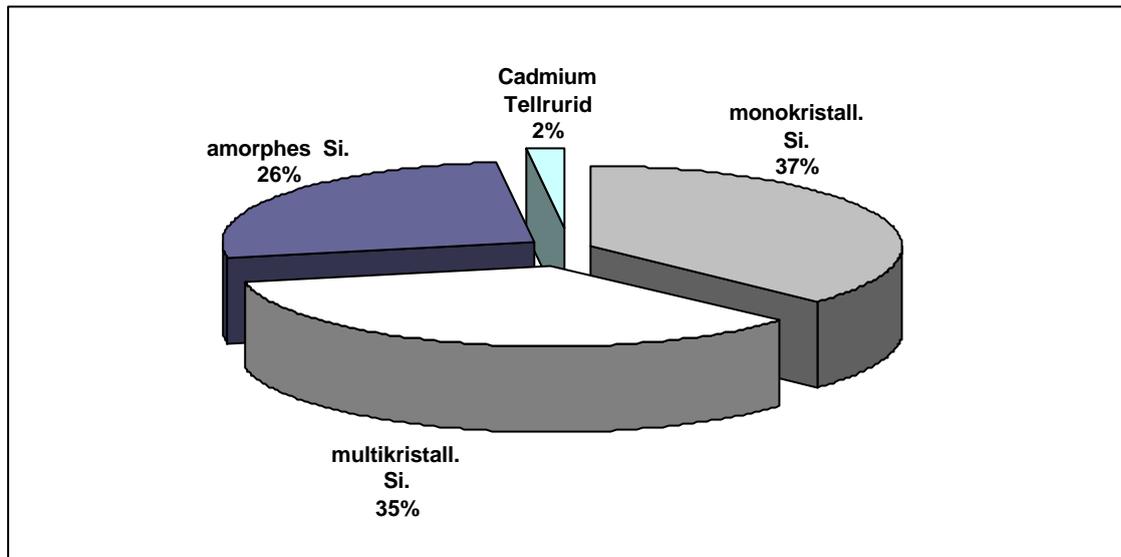


Abb. 2.7: Aufteilung des Weltmarkts nach Zellentypen und Umsatz in Wp (1994)
[28][31]

- monokristalline Solarzellen

Die durch Zersägen eines Einkristallstabes hergestellte monokristalline Solarzelle mit schwarzer Farbe hat eine Schichtdicke von etwa 0,2 bis 0,5 mm [14][27][32].

Aufgrund des hohen Verlustes an hochwertigem Material (50%) beim Zersägen und der aufwendigen Verfahrensschritte weist der Herstellungsprozeß einen hohen Kostenfaktor aus. Der Wirkungsgrad liegt bei serienmäßig gefertigten Zellen im Bereich von 13% bis 16% und hat bei Labormustern bis zu 24% erreicht [14][29]. Die monokristalline Technik hat damit den höchsten Wirkungsgrad und die Führungsrolle auf dem Weltmarkt für Solarzellen erreicht (s. Abb. 2.7).

- multi- oder polykristalline Solarzellen

Dazu werden 120 kg schwere Siliziumbarren mit einem Querschnitt von 430 x 430 mm² mit einer Kristallisationsgeschwindigkeit von 0,5 kg/min gegossen. Bemerkenswert ist, daß die Herstellungskosten gegenüber monokristallinen Zellen durch sparsameren Materialverbrauch und vereinfachten Arbeitsgang etwa um die Hälfte reduziert werden können. Der Wirkungsgrad dieser Zellen ist um 10 bis 20% niedriger als der der monokristallinen Solarzelle. Er beträgt in der Serienproduktion etwa 13%. Die typische Farbe ist blau. Viele Firmen arbeiten zur Zeit an der Weiterentwicklung des Materials und an neuen Verfahren zur weiteren Kostensenkung bei der Produktion.

- amorphe Solarzellen

In den 80er Jahren ist diese sogenannte Dünnschichttechnologie für Solarzellen aus amorphem Silizium als dritte Generation von Solarzellen entwickelt worden. Diese Solarzellen werden durch Aufdampfen von Silizium auf einen Träger, wie Glas- oder Stahlsubstrat, mit einer Schichtdicke von etwa 0,5 - 0,6 μm mit weitgehend regellos angeordneten Strukturen hergestellt [23].

Sie können in einem Formatmaß von 100 cm x 60 cm bis 120 cm x 200 cm vollflächig hergestellt werden, während bei kristallinen Solarzellen die einzelnen Zellen in aufwendigen Arbeitsabläufen zu Modulen zusammengefaßt werden. Sie eignen sich mit dem großen Formatmaß sehr gut für die Gestaltung großer einheitlicher Fassaden in der modernen Architektur. Hauptvorteil dieser Solarzellen ist ihre preisgünstige Herstellung, nachteilig sind die zur Zeit noch relativ niedrigen Wirkungsgrade (s. Tab. 2.2).

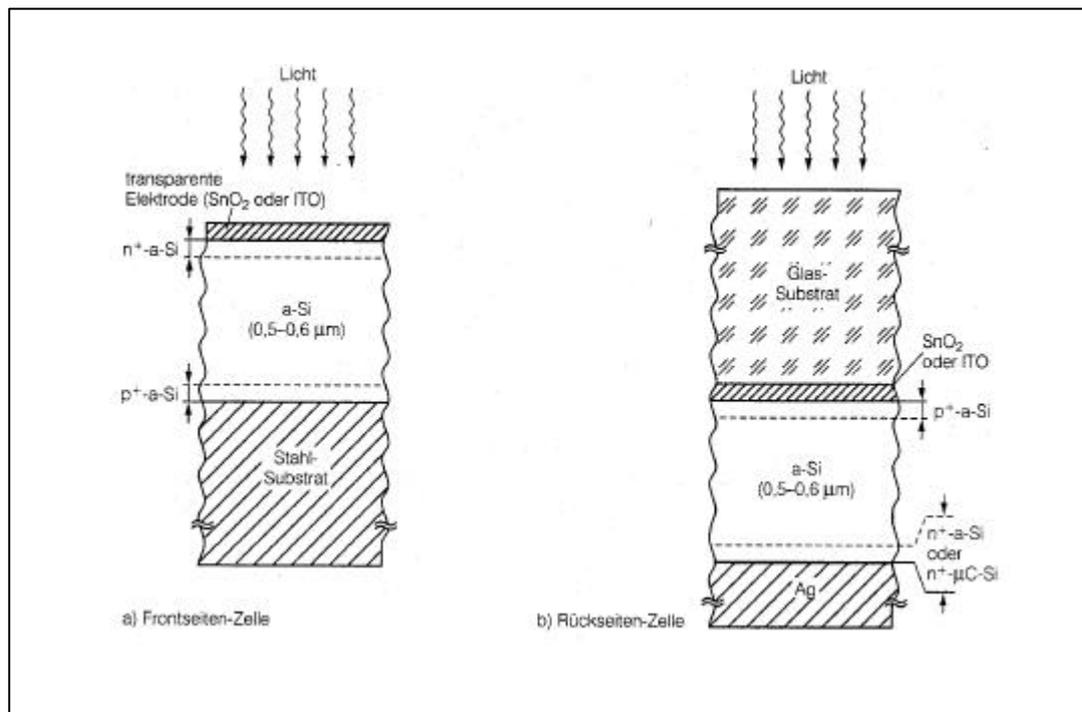


Abb. 2.8: Amorphe Si.-Solarzellen

a) Frontseiten-Zelle mit Stahl-Substrat

b) Rückseiten-Zellen mit Glas-Substrat, als transparentes Material wird SnO₂ oder Indium-Zinn-Oxid (ITO) verwendet [14]

Außer den drei vorgestellten gibt es zahlreiche andere Typen von Zellen. Zum Beispiel: Metal-Insulator-Semiconductor-Tellurid (MIS), hocheffiziente Zellen, Gallium-Arsenid (GaAs), Cadmium-Tellurid (CdTe), Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) und Tandemzellen oder Photochemische Zellen[14] [28] [33] [34] [35].

Die Entwicklung der Solarzellentechnologie für die praktische Anwendung ist noch nicht abgeschlossen. Es wird deutlich, daß diese Technologie langfristig über ein enormes Entwicklungspotential verfügt und durch intensive Entwicklung sicherlich neue Perspektiven gewinnt. Aus diesem Grund wird die Solarzellentechnologie in der Zukunft eine wachsende Rolle bei der umweltfreundlichen Stromversorgung spielen.

Die Tabelle 2.2 faßt den Wirkungsgrad der heutigen Solarzellen zusammen.

Tab. 2.2: Wirkungsgrad der verschiedenen Solarzellen

Zellenart	Wirkungsgrad Im Labor (%)	Wirkungsgrad In Produktion (%)	Merkmal
Monokristalline	ca. 24	ca. 14 – 17	sehr gute Langzeitstabilität
Polykristalline	ca. 18	ca. 13 – 15	ewas geringere Langzeitstabilität
Amorphe	ca. 13	ca. 6 - 8	geringere Langzeitstabilität

2.3.4. Modulherstellung

Die Leistung einer Solarzelle erreicht nur max. 1,5 Watt bei 0,5 V (s. Abb. 2.6-2). Um eine nutzbare Leistung zu erhalten, müssen mehrere Solarzellen zu Modulen in Serie oder parallel zusammengeschaltet werden.

- Serien- oder Reihenschaltung

Wie in Abbildung 2.6-1 dargestellt, werden jeweils die Plus-Elektroden einer Solarzelle mit dem Minusanschluß der nächsten verbunden [14]. Dabei addieren sich die Spannungen der zusammengeschalteten Zellen, die alle ein einheitliches Format haben müssen.

- Parallelschaltung

Durch Zusammenschaltung der gleichen Polarität wird ein höherer Strom erzeugt, während die Spannung konstant bleibt. Bei dieser Anordnung können Zellen verschiedener Formate problemlos miteinander verschaltet werden.

Die kristallinen Zellen werden zum Schutz vor mechanischer Beanspruchung und Witterung zwischen zwei Glasscheiben eingebettet. Alternativ ist auch eine Einbettung mit Glas vorne und Kunststoffolie (Teflon o.ä.) möglich. Ein Modul besteht üblicherweise aus ca. 30 - 40 einzelnen Zellen [36][27].

Die hochtransparente Vorderseite, die aus gehärtetem und gering reflektierendem Weißglas besteht, wird mittels einer vollflächigen transparenten Hinterfüllung aus UV-beständigem Gießharz mit der Rückseite verklebt. Mit diesem Verfahren können Module mit einer Fläche bis zu ca. 6,7 m² (2,1 x 3,2 m) hergestellt werden [37].

Die Gießharzeinbettung bietet einen hervorragenden Witterungs- und Korrosionsschutz bei gleichzeitig guten Schalldämmeigenschaften. Die rahmenlosen Module bieten eine außerordentlich hohe Lebenserwartung. Sie sind vom Design her sehr ansprechend und besonders für größere Anlagen und auf Grund ihrer Teiltransparenz auch für den Fassadenbereich gut geeignet. Solche Module werden mit einem Aluminium- oder Edelstahlrahmen eingefasst. Sie sind mechanisch hochstabil und elektrisch vollkommen zuverlässig und langlebig. Eine Lebenserwartung von 30 Jahren ist realistisch. Für die Modulleistung gewährleisten die meisten Anbieter eine Garantie von 10 Jahren, ein Anbieter in den USA gewährt sogar 20 Jahre [27][28][38].

Während bei Solarzellen aus mono- und polykristallinem Silizium die einzelnen Zellen in speziellen Arbeitsgängen zu Modulen größerer Fläche zusammengefaßt werden müssen, lassen sich mit amorphem Silizium großformatige Module direkt herstellen. [22]. Dadurch sind die Herstellungskosten deutlich niedriger. Ganzflächig ausgestaltete Dünnschichtzellen sind entweder rötlich durchscheinend oder dunkelgrau opak. Es gibt auch die Möglichkeit, Mikrostrukturen in die dünnen Schicht zu integrieren, so daß man transparente Stege zwischen größeren opaken Flächen von dunkelgrauer Färbung oder semi-transparenter Beschaffenheit erhält [39]. Die niedrigen Herstellungskosten und die erweiterten Gestaltungsmöglichkeiten verheißen amorphen Solarzellen eine aussichtsreiche Zukunft.

Abbildung 2.9 zeigt den Zusammenhang der Zellschaltung und eine schematische Darstellung des Aufbaus von kristallinen PV-Modulen.

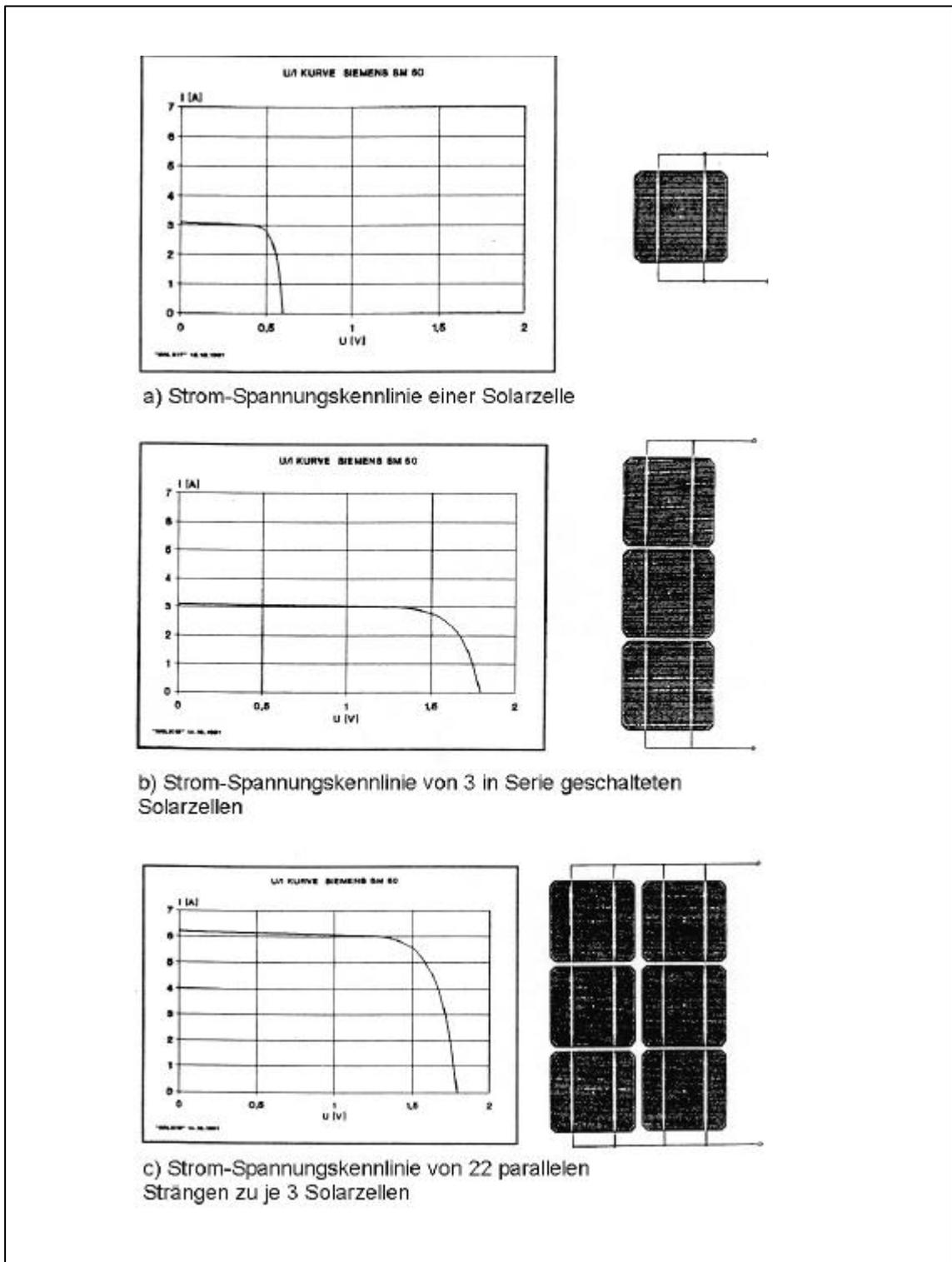


Abb. 2.9-1: Möglichkeiten der Zusammenschaltung von kristallinen Solarzellen [27]

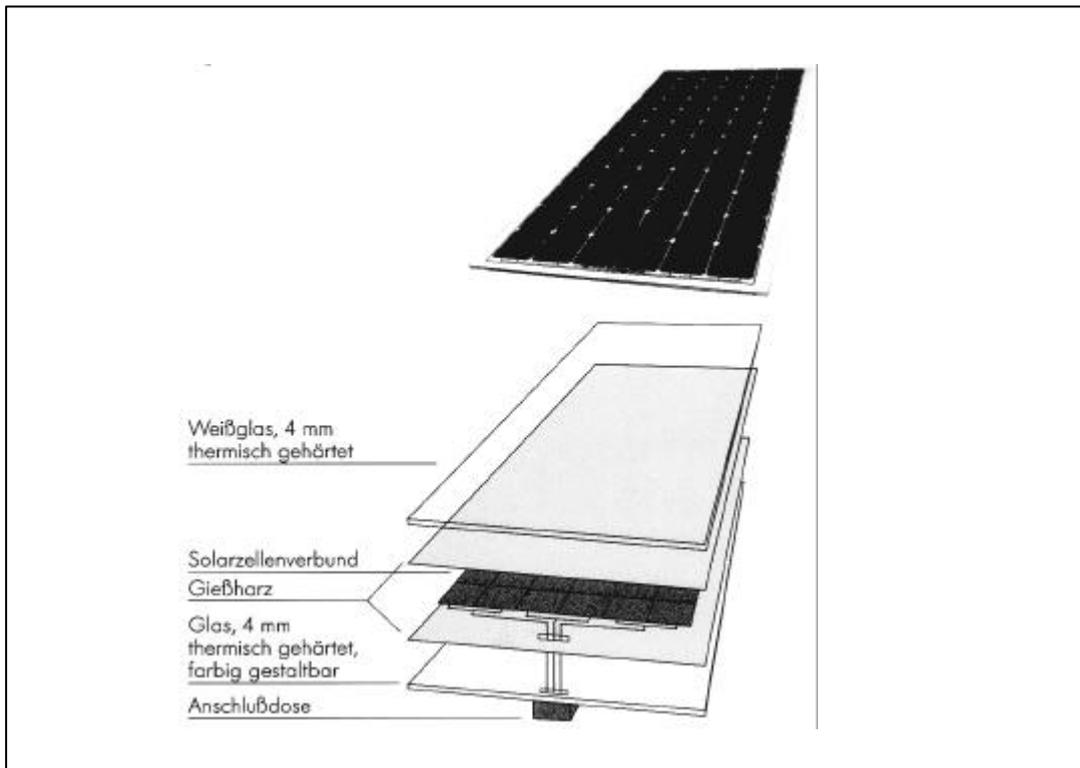


Abb. 2.9-2: Aufbau eines kristallinen PV-Moduls [40]

2.3.5 Anwendungskriterien

Die technischen Eigenschaften von Solarzellen und Modulen bedingen, daß die Strahlungsintensität der wichtigste Faktor bei der Stromerzeugung mittels Photovoltaik (PV) ist. Wichtige Faktoren für PV-Anwendung, die auf die Stromerzeugung einen großen Einfluß ausüben, sind die Orientierung zur Sonne, die Neigung der PV-Fläche und die Betriebstemperatur der Solarzellen. Wegen der Schwankung der Strahlungsleistung, die nicht nur von Standort und Jahreszeit, sondern auch von der Orientierung und Neigung der Empfängerfläche abhängig ist, müssen PV-Anlagen den jeweiligen Standorten entsprechend angepaßt werden, um eine intensive und möglichst lang anhaltende Sonneneinstrahlung sicherzustellen.

- Orientierung

Aufgrund des Sonnenstandes im Jahresverlauf ist in nördlichen Breiten die Ausrichtung der PV-Anlage nach Süden am günstigsten und in südlichen Breiten die Ausrichtung nach Norden.

- Neigung

Wie in Abbildung 2.10 dargestellt, hängt die Strahlungsleistung mit dem Winkel der PV-Fläche (Empfängerfläche) zur Horizontalen zusammen. Hier wird deutlich, daß die maximale Energieausbeute dann erzielt wird, wenn die Sonnenstrahlung senkrecht auf die PV-Fläche trifft. Je weiter die Neigung der Sonneneinstrahlung von der Horizontalen abweicht, desto geringer wird die Energieausbeute.

Die in dieser Arbeit behandelten Länder Korea und Deutschland befinden sich auf der nördlichen Erdhalbkugel, d.h. die Sonne erreicht ihren Höchststand im Süden, wie Abbildung 2.10-(a) zeigt. Bei der Analyse der Globalstrahlung von Korea und Deutschland wurde festgestellt, daß die optimale Ausrichtung einer PV-Fläche in beiden Ländern trotz des unterschiedlichen Breitengrades im Bereich einer Neigung von 30° nach Süden liegt. Tabelle 2.3 zeigt die Strahlungsstärken in Korea und in Deutschland für unterschiedliche Ausrichtungen und Neigungen bezogen auf die Einstrahlung einer horizontalen Fläche.

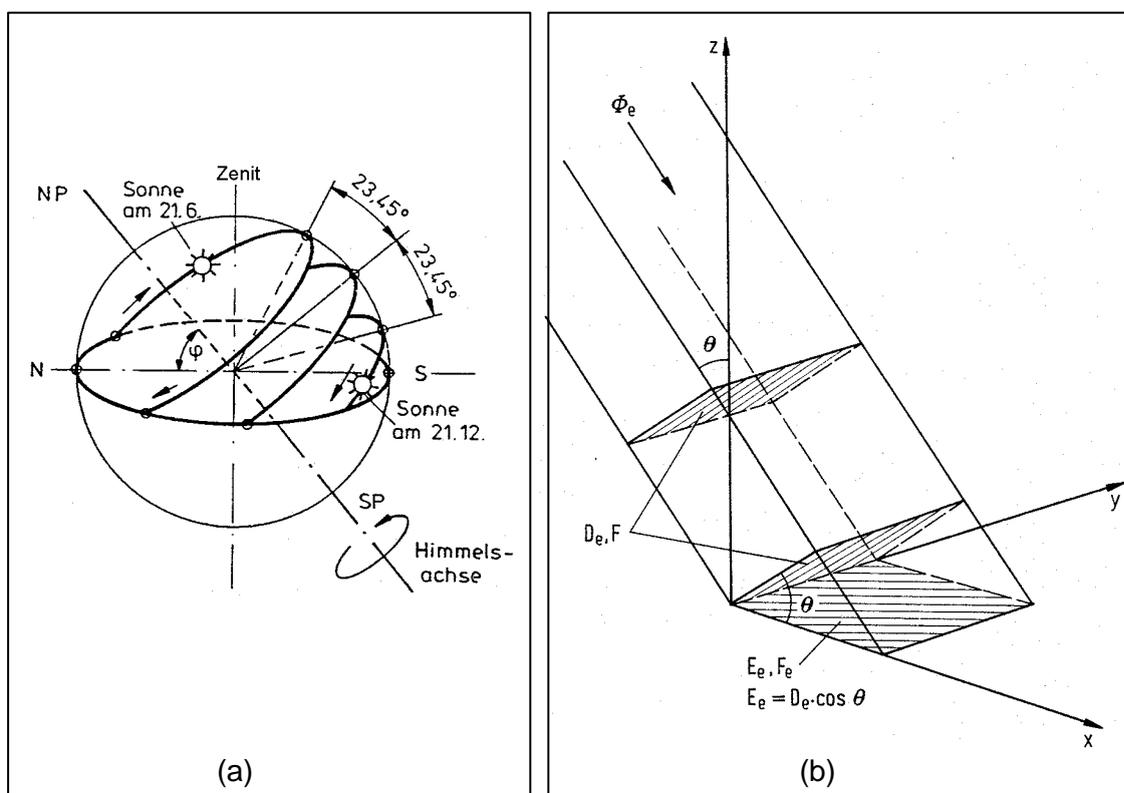


Abb. 2.10: (a) Sonnenverlauf an einem Ort mit geographischen Breite 50° und

(b) Bestrahlungsstärke auf der horizontalen geneigten Fläche [36]

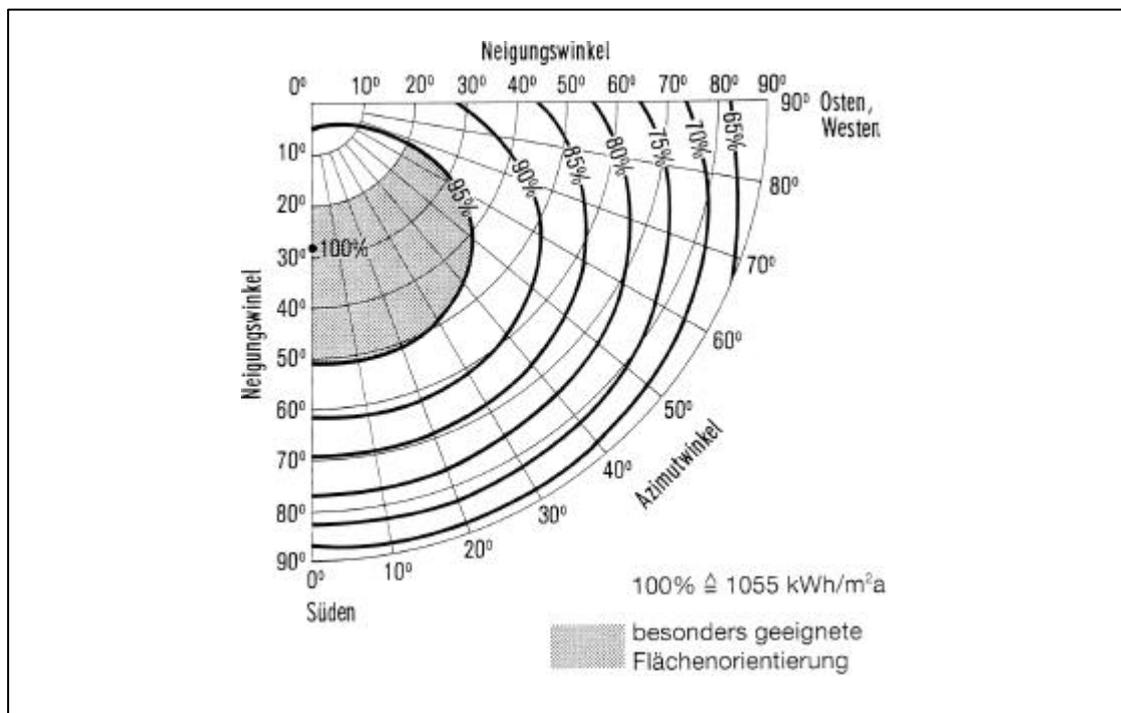
Tab. 2.3: Prozentuale Energieerträge auf eine horizontale Fläche bezogen

	KOREA ₁₎			BRD ₂₎		
	0°	30°	90°	0°	30°	90°
W/O	100%	96%	66%	100%	98%	66%
SW/SO	100%	107%	75%	100%	106%	75%
S	100%	111%	76%	100%	108%	76%

1) Analyse nach [11]

2) nach [40]

Eine anschauliche Art, ortsspezifische Energieerträge für Abweichungen von der optimalen Orientierung und Neigung zu ermitteln, ergibt sich aus der Benutzung eines dafür konzipierten Diagrammtyps - wie unter Abbildung 2.11 abgebildet. Gleichzeitig wird aus dem Diagramm ersichtlich, daß Orientierungsabweichungen zwischen Südwest und Südost sich nur in geringen Energieeinbußen niederschlagen, ebenso wie Abweichungen des Neigungswinkels zwischen 20° bis 50°.


Abb. 2.11: Einfluß des Neigungswinkels und der Himmelsrichtung auf die jährliche relative Sonnenbestrahlung einer PV-Anlage in Deutschland [23]

Für die PV-Anwendung in Korea steht noch kein solches Diagramm zur Verfügung. Daher wird ein Neigung- und Winkelsdiagramm speziell für Korea in Kapitel 4 auf Grund von Globalstrahlungen auf horizontalen- und geneigten Flächen und von Daten des jährlichen Sonnenverlaufes erstellt, womit PV-Planer in Korea einfach und schnell eine optimale Position der PV-Fläche ermitteln können (s. Abschnitt 4.4.2).

- Verschattungsfreiheit

Die Verschattung durch umliegende Bebauung, Bäume oder durch das Gebäude selbst kann den Energieertrag einer PV-Anlage erheblich vermindern.

Das hat zwei Ursachen [vgl. 41]:

- eine Verschattung schirmt den Generator teilweise oder vollständig von der Strahlungsenergie ab. Es kann deshalb dementsprechend weniger Energie in Elektrizität umgewandelt werden.
- bei Reihenschaltung einzelner Generatorkomponenten, d.h. von Zellen innerhalb eines Moduls und auch der Module selbst, führt schon eine teilweise Verschattung zu einer Leistungseinbuße, wie sie eigentlich erst bei vollständiger Verschattung zu erwarten wäre.

Für die direkte Strahlung wirkt sich dies sehr viel empfindlicher aus, als für diffuse Strahlung.

- Abhängigkeit von der Zelltemperatur

Der Wirkungsgrad einer Solarzelle ist unter Standard-Testbedingungen (bei 1000 W/m^2 und 25°C , AM 1,5ⁱ durch das Verhältnis von Einstrahlung zu Energieertrag definiert. Die Solarzellen selbst wandeln den größten Teil der auftreffenden Sonnenstrahlung in Wärme um und erreichen dabei unter Umständen sehr hohe Temperaturen. Mit zunehmender Zelltemperatur nimmt der Wirkungsgrad - also die spezifische Ausbeute - ab und zwar um $0,5 \%$ je $^\circ \text{C}$ [27][28][29]. Dieser Verlust kann im Jahresmittel bei freier Stellung mit etwa $3\text{-}8 \%$ angesetzt werden [28]. Abbildung 2.12 zeigt den Einfluß der Zelltemperatur auf die Leistung einer Solarzelle. Bei niedriger Temperatur ist die Leistung erheblich besser. Daraus folgt, daß die spezifische Ausbeute einer PV-Anlage an einem klaren Wintertag höher ist, als an einem sonnigen und heißen Sommertag, da die Zelltemperatur dann durchaus Werte bis zu 75°C erreichen kann (s. Kapitel 6).

ⁱ AM (Airmass) 1,5: Die Lichtstrahlen der Sonne durchqueren die Atmosphäre in einem Winkel, der der eineinhalbfachen Länge der kürzesten Strecke (AM 1) entspricht.

Aus diesem Grund ist eine sorgfältige Auslegung der baulichen Maßnahmen zur effektiven Hinterlüftung für die Integration von Solarmodulen an Gebäuden besonders wichtig. Auf diesen Punkt wird später noch ausführlicher eingegangen.

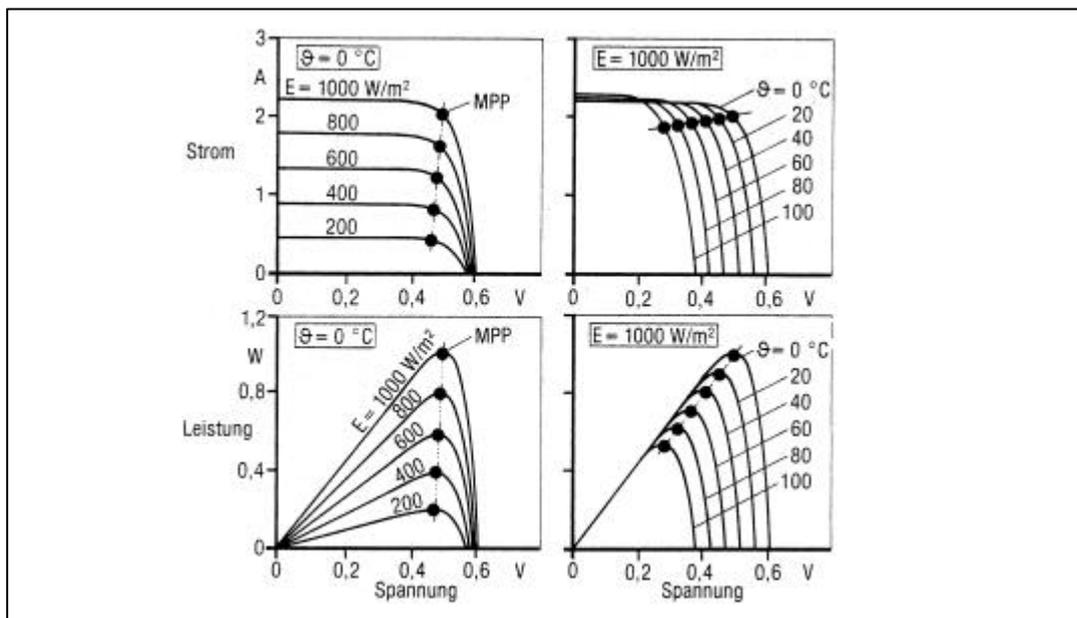


Abb. 2.12: Die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Zelltemperatur [23]

2.4 PV-Integration an Gebäuden

Die Photovoltaik hat in den letzten 10 Jahren in allen Anwendungsbereichen sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht große Fortschritte gemacht. Diese Entwicklung zeigt sich sehr deutlich bei den gebäudeintegrierten PV-Anlagen und hat in diesem Bereich der Architektur neue Ausdrucksformen und damit Möglichkeiten erschlossen, diese neue und umweltfreundliche Technologie einer breiten Öffentlichkeit näher zu bringen. Die künftige Aufgabe wird es sein, integrierte PV-Anlagen zu eigenständigen Gestaltungselementen weiter zu entwickeln.

Als Vorteile der Integration von PV in Gebäude ergeben sich [vgl. 14, 38, 42]:

- der Einbau einer PV-Anlage erfordert keine Grundrißerweiterung. Im Vergleich zu einer additiv aufgesetzten oder auf Freiflächen aufgestellten Anlage spart dies Kosten und bremst den Landschaftverbrauch.
- der Ersatz konventioneller Gebäudebestandteile durch geeignete und ungleich verschleißfestere integrierte PV-Module spart Kosten.

- PV- Elemente können als neuartige Gestaltungselemente Impulse für neue architektonische Kreativität geben
- Bauherr und Gebäudenutzer leben die praktische Umsetzung einer ökologisch wertvollen Technologie vor und bauen diesbezügliche Vorbehalte ab.

2.4.1 Betriebssysteme an Gebäuden

Als Anlagenkonzepte zur Stromerzeugung kommen mehrere verschiedene Betriebssysteme in Frage, die in Abbildung 2.13 dargestellt sind.

Die PV-Anlage wird, je nach Leistungsanforderung und Nutzung der Verbraucher, mit einem geeigneten System kombiniert. Für die an Gebäuden installierten PV-Anlagen bieten sich zwei Betriebssysteme an: (S. 27)

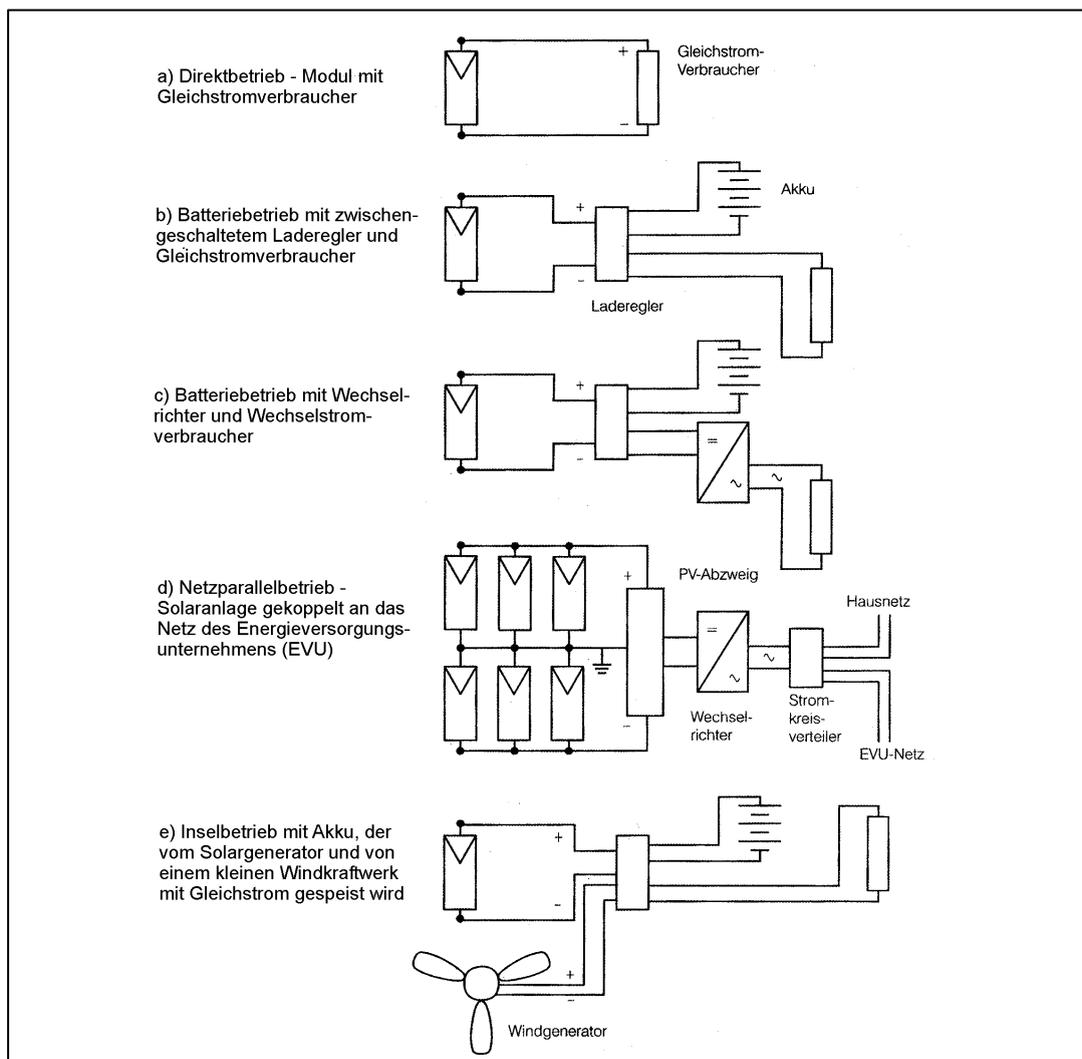


Abb. 2.13: Verschiedene Betriebssysteme zur Erzeugung des Solarstroms[14]

- Insel- oder Autarkbetrieb

Dieses Betriebskonzept ist sinnvoll zur dezentralen Stromversorgung von abgelegenen Stromverbrauchern, deren Strombedarf nicht sehr hoch ist. Solche Anlagen sind meist mit anderen Stromerzeugern, wie Windkonvertern oder Dieselaggregaten kombiniert. Die Möglichkeit der Energiespeicherung ist hier bedeutsam. Üblicherweise verwendet man Akkumulatoren zur Speicherung. Der Nachteil der Speicherung besteht darin, daß Akkumulatoren größerer Leistung sehr teuer und umweltbelastend sind. Die Dimensionierung richtet sich nach Standort und Energiebedarf der Verbraucher. Hierbei bieten sich üblicherweise Gleichstromanlagen für 12 oder 24 Volt an, aber auch Wechselstromanlagen sind geeignet.

- Netzparallelbetrieb

Hier werden die PV-Anlagen mit dem öffentlichen Netz verbunden. Der von der PV-Anlage erzeugte Gleichstrom wird über einen Wechselrichter in den haushaltüblichen Wechselstrom umgewandelt und im Gebäude verbraucht. Überschüssiger Strom wird ins öffentliche Netz eingespeist. Wenn der angeschlossene Verbraucher in der Nacht oder bei mangelnder Sonnenstrahlung mehr Strom benötigt als die PV-Anlage liefert, wird der Bedarf im Gegenzug direkt aus dem Netz gedeckt. Eine PV-Anlage mit diesem Betriebssystem setzt sich aus einigen wichtigen Bestandteilen zusammen, die in Abbildung 2.14 dargestellt sind.

Dieses System wurde seit den 80-er Jahren durch Förderprogramme, beispielsweise das deutsche „Bund-Länder-1000-Dächer-Programm“, in der Größe von 1 bis 5 kWp für Privathäuser und von einigen 10 kWp bis zum Megawatt-Bereich realisiert. Gegenüber dem Inselbetrieb bietet es folgende Vorteile [44]:

- höchste Energieausbeute,
- geringste systemtechnische Kosten,
- wenig störanfällige Anlagentechnik,
- Verwendung von Standardkomponenten möglich,
- Versorgungsreserve durch das öffentliche Netz,
- geringster Platzbedarf,
- minimale Wartungskosten,
- enge Kopplung von Erzeugung und Verbrauch

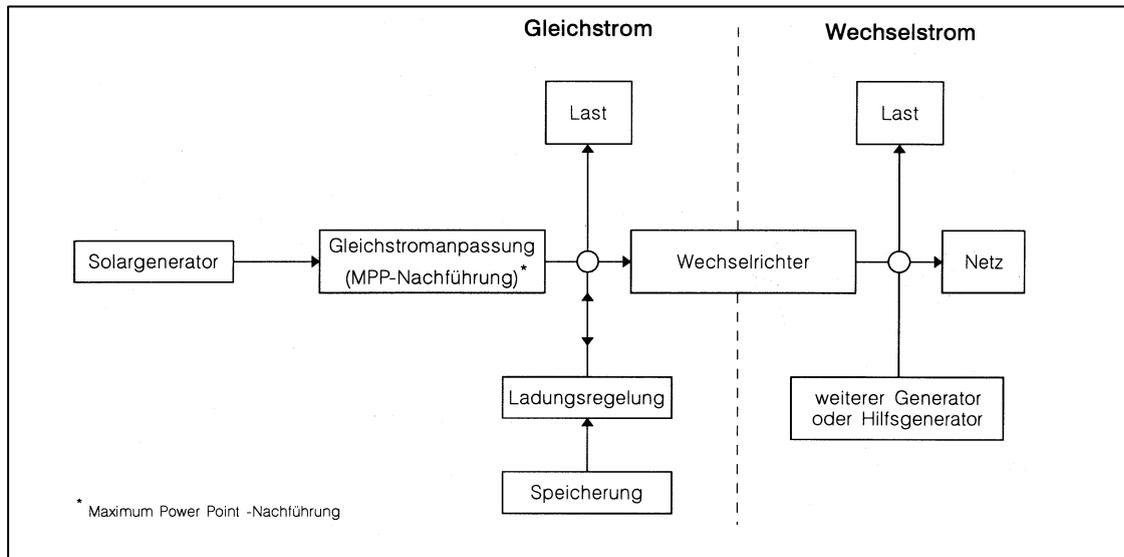


Abb. 2.14: Schema eines PV-Netz-Betriebssystems im Gebäude [43].

Dieses Betriebssystem setzt voraus, daß ein kooperatives Energieversorgungsunternehmen zur Verfügung steht.

In Korea kann im Frühling aufgrund der hohen Globalstrahlung die maximale Stromerzeugung mit PV- Anlagen erreicht werden, und bei großflächiger Anwendung wären so beachtliche Stromgewinne zu erzielen. Der im Frühling erzeugte PV-Strom könnte beispielsweise in diesem Zeitraum ohne Kühllast den Strombedarf eines Gebäudes decken, und überschüssige Energie an industrielle Verbraucher weitergeleitet werden.

Im Sommer, wenn der Stromverbrauch wegen der Kühllast das Maximum erreicht, könnte PV-Strom die Stromversorgung des Landes stabilisieren. Der photovoltaisch erzeugte Strom könnte die auftretenden Lastspitzen in den Kraftwerken stark reduzieren. Der hohe Kühlenergiebedarf im Sommer bedingt eine weitgehende Kopplung von Energieverbrauch und -angebot für Korea (s. Kapitel 3).

2.4.2 Möglichkeiten zur Integration von PV an Gebäuden

Grundvoraussetzung für die sinnvolle technische Nutzung der PV zur Stromerzeugung ist eine ausreichend große Betriebsfläche.

Die Fläche der Gebäudehülle hängt von der Gebäudegeometrie, also dem Verhältnis von Oberfläche zu Volumen (A/V), ab. Ihre Funktion ist die Trennung zwischen Außen- und Innenklima. So dient die Hülle dem Schutz vor der Witterung und der Schaffung eines angenehmen Raumklimas.

Bei der PV-Integrationen an Gebäuden wird besonderer Wert darauf gelegt, die vorhandenen Gebäudeflächen zusätzlich zur Stromerzeugung nutzen können. Gesucht wird die Möglichkeit, konventionelle Bauelemente durch PV-Module zu ersetzen. Für die Aufnahme bieten sich folgende drei Bereiche an:

- Dachbereich
- Fassadenbereich
- Sonnenschutz

Prinzipiell kann die gesamte Gebäudehülle PV-Elemente aufnehmen, jedoch sollte man mit Rücksicht auf die Eigenschaften der Solarzellen die optimale Ausrichtung und Neigung im Auge behalten. Aus Abschnitt 2.3.5 ergibt sich, daß in der Regel die nach Süden orientierten geneigten Dächer und Fassaden zu bevorzugen sind.

Tabelle 2.3 zeigt Möglichkeiten der Integration von PV-Modulen für verschiedene Bereiche der Gebäudehülle. Die Integration kann bei existierenden Gebäuden immer nur nachträglich erfolgen. Wünschenswert ist, sie bei Neubauten in den Entwurfsprozeß mit einzubeziehen.

Tab. 2.4: Möglichkeiten von PV-Integration an Gebäuden

		an existierenden Gebäuden	an Neubauten
Dach	geneigtes Dach	Auf-Dach-Montage	Integration als Dachhaut
	flaches Dach	Aufstellung	Aufstellung oder Integration als Dachhaut
Fassade	Brüstung	beschränkt	Integration als Brüstungs-panel
	Verkleidung	beschränkt	als Außenhaut
	Fensterverglasung	beschränkt	als Fensterscheibe
Sonnenschutz	transparente Bereiche, ausgenommen Aussichtsöffnungen	möglich	Süd-, West-, Ostbereich
	beweglicher	beschränkt	Süd-, West-, Ostbereich

Wohngebäude in Korea haben meistens ein nach Süden orientiertes geneigtes Dach (s. Kapitel 4), womit die erste Voraussetzung für PV-Anwendung erfüllt ist. Bei Industriebauwerken, deren Dachfläche als Flachdach oder Sheddach groß ist, gibt es gute Möglichkeiten, PV-Anlagen mit einer hohen Leistung zu integrieren. Für die Nutzung der Fassadenflächen sind die im Trend der Zeit entwickelten Wohnhochhäuser, Geschäftsgebäude mit Wohnungsanteil und die Bürogebäude mit ihren großen Außenhüllen gut geeignet.

Andererseits können PV-Elemente in Korea auch als Sonnenschutz sehr sinnvoll sein. Der Stromverbrauch im Gebäudesektor ist im Sommer sehr hoch (s. Kapitel 3), bedingt durch hohe Kühllasten, da die Gebäude meist keine außenliegende Sonnenschutz-Elemente aufweisen. Eine Beeinträchtigung der Aussicht und der Tageslichtbeleuchtung gilt es zu vermeiden.

PV-Integration an Gebäuden birgt Chancen, ein Gebäude vielfältiger und kreativer zu gestalten und durch emissionsfreie Energienutzung die Atmosphäre zu schützen.

Einzelheiten der gestalterischen und konstruktiven Integration werden im Kapitel 5 an bestehenden bzw. neu geplanten koreanischen Gebäuden betrachtet.

2.4.3 Dachintegration der PV-Anlage

Dachflächen stellen in der Regel ein enormes Potential an nutzbarer Fläche zur Verfügung und sind als Einsatzort für eine PV-Integration sehr beliebt. Die nach Süden geneigten Dächer bieten sich unter optimalen Anwendungsbedingungen zur Stromerzeugung mit maximaler Energieernte an. Dabei handelt es sich um Einfamilienhäuser, die in Korea in der Regel nach Süden ausgerichtet sind.

Die Dachneigung bestimmt die Neigung der PV-Anlage und damit die erreichbare Stromausbeute. Die koreanische Einfamilienhäuser haben üblicherweise eine Dachneigung von etwa 20°. Die Nach- bzw. Ausrüstung von PV-Modulen bei diesen Dächern erfolgt nach zwei unterschiedlichen Prinzipien:

- Auf-Dach-Montage [50][51][92]

Eine witterungsbeständige Unterkonstruktion aus Aluminium und Edelstahl wird auf der bestehenden Dachhaut aufgebaut, übernimmt aber nicht deren Funktion. Wegen des geringeren baulichen Aufwandes und der überschaubaren bauaufsichtlichen Anforderungen ist diese Konfiguration in der Regel eine preiswerte Lösung. Allerdings bilden die PV-Elemente einen deutlichen Form- und Farbkontrast zur Dachoberfläche.

- Dachintegrierte Montage

Bei frühzeitiger Überlegung im Planungsprozeß ist die PV-Integration ein Entwurfsparameter und wird im Gesamtzusammenhang mit konstruktiven und optischen Überlegungen berücksichtigt. In diesem Fall ersetzen die PV- Module eine konventionelle Dachdeckung und ermöglichen eine weiterreichende gestalterische Einbindung. Die Ausbildung eines solchen Daches richtet sich nach den Anforderungen an Glasdächer und wird meist als Stahlrahmenkonstruktion mit aufgelegten und abgedichteten Glas-scheiben mit oder ohne Glaspressleiste ausgeführt [45]. Die gestalterische Integration kann entweder in Kombination mit einer herkömmlichen Dachdeckung oder als homogene Dachfläche in einem Glasdach realisiert werden. Besonders zu beachten sind, genau wie beim Aufbau eines Glasdaches, die Abdichtung und die bauphysikalischen Beanspruchungen des Daches, wobei unter dem ständigen Wechsel der äußeren Einwirkungen Schäden auftreten können [vgl. 46, 47]. Zur Vermeidung von Schäden, wie auch zur Verbesserung des Wirkungsgrades der PV-Anlage, empfiehlt es sich, die PV-Anlage zu hinterlüften. Dabei sollte ein Mindestabstand von 5 cm eingehalten werden. Der optimale Abstand liegt bei 20 bis 25 cm. Weiterhin besteht die Möglichkeit der Nutzung der Abwärme zur Unterstützung der Gebäudeheizung über einen Wärmetauscher. Außerdem gibt es besondere Module, die speziell für direkte Integration in geneigte Dachbereiche konzipiert sind.

- Solar-Dach-Ziegel [49][93] [94]

Solar-Dach-Ziegel sind speziell für die Dachintegration entwickelte, in Kunststoff-Rahmen eingefasste, Solarzellen. Diese erlauben die direkte Verlegung auf eine herkömmliche Dachlattung ohne zusätzliche bauliche Vorbereitung. Das thermisch gehärtete Spezialglas gewährleistet die Begehbarkeit sowie die Widerstandsfähigkeit gegenüber Umwelteinflüssen [vgl. 48].

- PV- Dachschindeln [95]

Die PV- Module werden im Schema der Überdeckungsanordnung wie Rechteck-, Streifen-, oder Blockanordnung als Dachdeckung verwendet. Im Überdeckungsbereich befinden sich keine Solarzellen. Durch ein neu entwickeltes Befestigungs- und Drainagesystem bleibt die PV-Anlage auch unter Wind- und Schneelasten sehr stabil. Von Vorteil ist, daß solche Module beim Bedarf sehr einfach auswechselbar sind und durch das Befestigungssystem ihre Doppelfunktion als Stromerzeuger und Dachhaut übernehmen können [vgl. 49].

- Flachdach-Montage

Bei der Montage von PV-Anlagen auf einem Flachdach sind je nach Dachaufbau unterschiedliche Lösungen denkbar. Im Dachbereich bestehender Gebäude werden PV-Elemente häufig oberhalb der Dachabdichtung aufgeständert und nach dem örtlichen Anwendungskriterium ausgerichtet (z.B. nach Süden, 30° Neigung) und justiert. In der Praxis werden die Module von einer Gestellkonstruktion aus Aluminium U-Profilen getragen. Die aus Montagebügeln für die PV-Elemente zusammengesetzte Konstruktion, wird auf ausgelegten Betonfüßen montiert. Bei der Lagesicherung mit Betonfüßen wird das schadensträchtige Durchbohren und Abdichten der Dachhaut vermieden [27][50].

Zur Vermeidung des Eigenschattens während des Betriebs muß ein genügender Abstand zwischen den Gestellreihen eingehalten werden, und zwar sollte der winterliche Schatten, welcher in den nördlichen Breiten wegen des flachen Sonnenstandes lang ausfällt, als Maßstab genommen werden. In der BRD sollte der Abstand zwischen den Unterkanten zweier Modulreihen mindestens die dreifache Höhe einer Generatorfläche betragen [51]. Die Anforderungen sind abhängig von der geographischen Lage des Einsatzortes. Die besondere Anforderungen für Korea sind unter Abschnitt 5.2.2.3 näher erläutert.

Dachflächen von Industrie- und Verwaltungsgebäuden bieten sich wegen ihrer großen Fläche als optimale Einsatzorte zur PV-Integration an. Besonders das nach Süden ausgerichtete Sheddach gilt aufgrund seiner günstig geneigten Südfläche als idealer Anwendungsbereich. Hier ist die direkte Einbindung der PV-Module in die Dachhaut eine elegante Lösung. Der Aufbau erfolgt im Pfosten-Riegel-System, einer für Glasdachkonstruktion übliche Anwendung. Es ist jedoch sehr wichtig, auf die Dichtheit des Daches zu achten.

Zum sicheren Abfließen von Regenwasser und zur Vermeidung starker Verschmutzung sind zu flach integrierte Modulebenen zu vermeiden. Wichtig ist, daß die Anschlüsse die Austauschbarkeit der Module gewährleisten.

2.4.4 Fassadenintegration

Der Einsatz von PV in Fassaden ist gestalterisch sehr attraktiv und kann an Büro-, Verwaltungs- und Fabrikgebäuden mit ihren enormen Flächenpotentialen problemlos ausgeführt werden. Prinzipiell ist die Montage von PV-Modulen in allen Fassadensystemen möglich. Beispielsweise können PV-Module direkt in eine Vorhangfassade, in einen Brüstungsbereich oder in ein verglastes Treppenhaus integriert werden.

In diesen Fällen übernehmen die PV-Module zusätzlich zu ihrer konventionellen Funktion des Wärme-, Wetter-, und Schallschutzes die Funktion der Stromerzeugung. Vielfältige Möglichkeiten der Fassadengestaltung mit verschiedenen Farben und Strukturen sind gegeben. Zur Integration verwendet man rahmenlose Module. Optimal für PV-Fassaden sind Süd-, Südost- und Südwest Ausrichtungen. Nach den Erfahrungen aus mehreren Pilotprojekten ergeben sich die folgenden vier Möglichkeiten im Fassadenbereich [vgl. 40]:

- Vorgehängte Kaltfassaden (als hinterlüfteter Witterungsschutz)

Beispiele dafür sind die Stirnfassade, der Attikabereich, oder auch der Brüstungsbereich, wobei keine Verbindung zum Warmbereich der Fassade besteht. Die Außenhaut, die z.B. aus Einscheibensicherheitsglas besteht, schützt im thermisch getrennten Zustand gegen eine Bewitterung des Baukörpers. PV-Module können ohne weiteres an Stelle von Einscheibensicherheitsglas verwendet werden. Sie werden vor dem tragenden Skelett befestigt. Durch Hinterlüftung wird die PV-Fassade gegen Kondensation auf der Rückseite der Module und vor hoher Betriebstemperatur geschützt.

- Wärmedämmte Warmfassaden (als nicht hinterlüftete Außenbekleidung)

In diesem Fall werden der Fassade gleichzeitig mehrere Funktionen übertragen. Sie ist Wetterschutz, Lärmschutz und Wärmedämmung, sowie ein sich selbst oder andere Lasten abtragendes System. Die PV-Module sind Einselemente und ersetzen Isoliergläser oder Isolierpaneele. Dabei erfolgt die Befestigung im konventionellen Pfosten-Riegel-System.

- Einsatz für Lichtdurchlässigkeit in Isolierglasfassaden als teiltransparente Flächen

Bei der Integration von PV-Modulen sollte eine Beeinträchtigung von Aussicht und Tageslichtbeleuchtung vermieden werden. Die Lichtdurchlässigkeit der PV-Module kann individuell durch den Belegungsgrad mit opaken kristallinen Modulen, oder durch den Einsatz von semitransparenten, amorphen Modulen zwischen den Trägergläsern beeinflusst werden. Dabei werden neben dem Tageslichteinfall interessante graphische Lichteffekte im Innenraum durch Modulstrukturen erzeugt. Treppenhäuser, Lichtdächer und verglaste Schrägfassaden eignen sich sehr gut für diese Integration. Bei der vertikalen Integration der PV-Module als Fassadenverkleidung ergibt sich wegen der geringeren Einstrahlung gegenüber geneigten PV-Modulen eine niedrigere Solarstromernte. D.h. im Vergleich zu einer optimal nach Süden geneigten (30°) PV-Anlage werden in der, in einer Südfassade vertikal integrierten PV-Anlage, etwa 30% weniger Strom erzeugt [52]. Allerdings ist die winterliche Sonnenenergienutzung bei tiefem Sonnenstand optimal. Angesichts der niedrigeren Stromernte ist die Bedeutung der Verschattungsfreiheit wesentlich höher als bei freier Aufständering oder bei einer Dachintegration. Im Jahresmittel liefert die vertikale Südfassade in Korea ca. 69% der Energie einer 30° geneigten PV-Anlage (s. Tab. 2.3).

Neben der Ausrichtung sind für die einwandfreie Funktion einer PV-Fassade weitere Anforderungen hinsichtlich der Modulintegration, der Kabelführung, der Statik, der Entwässerung und der Ästhetik zu beachten.

2.4.5 Integration als Sonnenschutz

Die Sonnenstrahlung erzeugt nicht nur Licht, auch Wärme. Hinter Glasflächen kann direkte Sonneneinstrahlung zu Aufheizung und Wärmestau führen. Dies beeinflusst das Raumklima stark, besonders in Gebäuden mit großzügig verglasten Fassaden, die eigentlich mehr Licht und Transparenz in moderner Architektur bringen sollen. Wegen der vergleichsweise hohen Wärmelasten in Büros und an Computer-Arbeitsplätzen ist der Heizfall häufig von untergeordneter Bedeutung, während die Gefahr der Raumüberhitzung oder die Notwendigkeit der Raumkühlung im Vordergrund stehen [53]. Zur Verminderung der Wärmebelastung von Räumen verwendet man Sonnenschutzeinrichtungen, die die direkte Sonnenstrahlung abschirmen. Den höchsten Wirkungsgrad erreicht man mit Sonnenschutzsystemen, die außen an Gebäuden horizontal oder vertikal installiert sind. Bei diesen Systemen unterscheidet man wiederum starre und bewegliche Systeme.

Hier besteht die Möglichkeit, PV-Module als Sonnenschutzelemente in der Fassaden zu montieren. So senken die PV-Module die Kühllast des Innenraums durch Verschattung und liefern gleichzeitig Strom. Für diese Funktion sind bewegliche Elemente am günstigsten [21].

- als starre Sonnenschutzelemente

Zu den starren äußeren Sonnenschutzelementen gehören Vordächer, Stellmarkisen, Balkone und andere über Fenstern auskragende Bauteile. Als starres Sonnenschutzelement werden die PV-Module optimal zur Sonne positioniert und spenden gleichzeitig Schatten. Der Einsatz einer Stellmarkise oder eines Vordachs stellt gute Beispiele dar für eine PV-Integration als Sonnenschutz und bietet eine einfache Möglichkeit zur PV-Anwendung. Die angewendete PV-Module werden in Verbundsicherheitsglas (ESG) eingesetzt und mit einer Unterkonstruktion aus Aluminium- oder Leichtmetall-Profilen über Fenster- bzw. Eingangsbereiche montiert. Dabei wird die Lichtdurchlässigkeit bei kristallinen Modulen über den Zellenbestückungsgrad individuell nach Bedarf eingestellt. Der Lichteinfall in das Gebäude kann so, ohne die Durchsicht nach außen zu beeinträchtigen, variiert werden und trägt zusätzlich zur Attraktivität der Photovoltaik bei. Nachteilig wirken sich starre Elemente auf die Tageslichtbeleuchtung bei bedecktem Himmel aus. Dies kann höheren Stromverbrauch der künstlichen Beleuchtung zur Folge haben.

- als bewegliche Sonnenschutzelemente

Außenliegende drehbare Lamellen mit PV-Integration bieten eine steuerbare Verschattung ohne die nachteilige Beeinträchtigung von Aussicht, Tageslicht und passiver Solarheizung. Die Drehung um die Horizontal- oder Vertikalachse erfolgt motorisch. Die Lamellen bilden in der Regel einen feststehenden Sonnenschutzrost, dessen Lamellen bezüglich der Winkeleinstellung variabel sind. Diese Einrichtungen bestehen überwiegend aus einer Aluminium- oder Leichtmetallkonstruktion mit einem Mechanismus zur automatischen Steuerung der Lamellen. Die PV-Lamellen, in Verbundsicherheitsglas eingebettete Module, werden mit einem elektrischen Stellmotor dem Sonnenstand nachgeführt [vgl. 49], wodurch sich die Ausbeute an Solarstrom verbessert. Die Lamellen sollten nach Möglichkeit so beschaffen sein, daß es keine Eigenverschattung der Solarzellen ergibt, um Wirkungsgradverluste der PV-Anlage zu vermeiden.

Im Allgemeinen ist die Belüftung der Elemente bei den außenliegenden Beschattungselementen optimal, so daß mit dem günstigsten Anstellwinkel eine optimale Nutzung der PV-Module erreicht wird.

Es gibt ein für diffuses Licht transparentes Solarelement, das direkte Sonnenstrahlung mit Hilfe holographisch-optischer Elemente (HOE) [53][54][55][56][57][58][59][60][61][62] auf Solarzellen fokussiert. Das am Institut für Licht und Bautechnik in Köln entwickelte System besteht aus zwei Hologrammlamellen und einer PV-Lamelle. Dabei werden die holographischen Filme und Solarzellen jeweils zwischen zwei Glasscheiben eingebettet. Die lichtlenkende Wirkung der Hologramme in einem bestimmten Winkelbereich ermöglicht die Konzentration der direkten Sonnenstrahlung auf die eine Ebene tiefer liegenden Solarzellen (s. Abb. 2.15). Zwei Drittel der Lamellenflächen bestehen aus transparentem, durchsichtigem Glas mit HOE, während ein Drittel mit der Solarzellen opak und undurchsichtig ist. Die Konzentration der direkten Sonnenstrahlung bewirkt eine Steigerung der jährlichen Solarente der Zellen um der Faktor 1,4 unter Berücksichtigung von gegenseitiger Verschattung und Diffuslicht [13][55].

Die Elemente werden vor Fassaden oder über Glasdächern eingesetzt und haben eine Breite von 45 bis 60 cm und eine Spannweite bis 600 cm [63]. Erstmals wurde dieses System 1998 im Ausbildungszentrum der Innung "Heizung-Lüftung-Sanitär" in Köln eingesetzt.

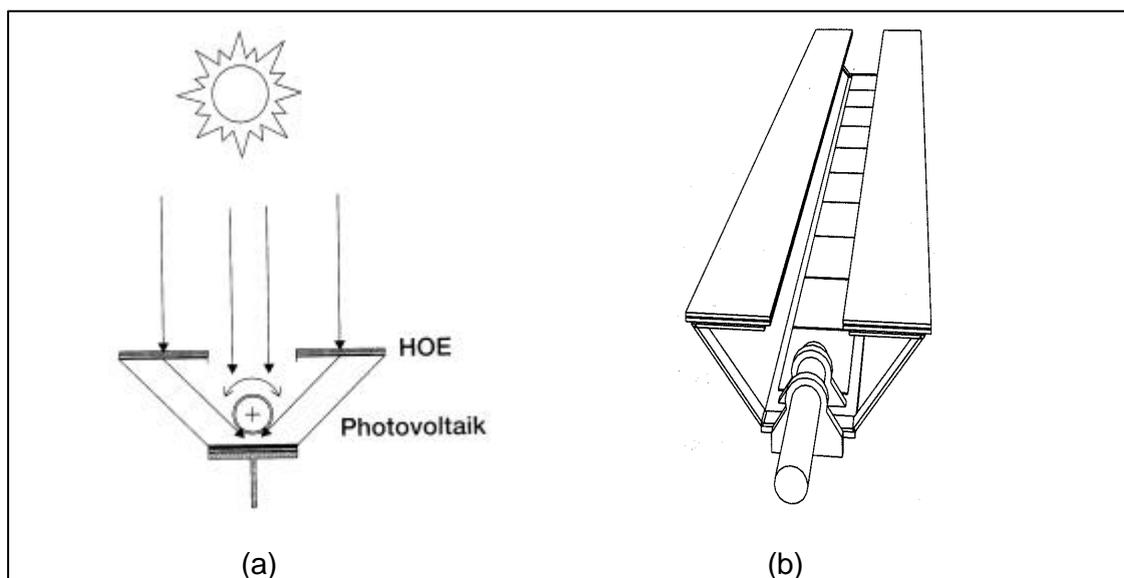


Abb. 2.15: Photovoltaik-Verschattungselement mit HOE, (a) Funktionsschema und (b) Perspektive [63]

3 Energetische Randbedingungen in Südkorea

3.1 Begriff

Die Bereitstellung von Energie ist in der modernen Industriegesellschaft nicht nur für die wirtschaftliche Existenz, sondern für das gesamte soziale und kulturelle Leben Grundvoraussetzung. Die herausragende Bedeutung der Energie wurde im Verlauf der beiden Ölkrisen in den 70-er Jahren besonders deutlich.

Der Energieverbrauch zwischen 1970 und 1990 hat in Korea durch die Industrialisierung des Landes, den verbesserten Lebensstandard und die Bevölkerungszunahme jährlich um etwa 10 % zugenommen, während der Weltenergieverbrauch in derselben Zeit eine jährliche Zuwachsrate von 2,3 % aufweist [64][65]. Wie Abbildung 3.1 zeigt, ist der Primärenergieverbrauch im Zeitraum zwischen 1970 und 1995 ca. 7,6-fach angewachsen. Dabei hat der Energieverbrauch pro Kopf von 0,61 TOEⁱ im Jahr 1971 auf 3,35 TOE im Jahr 1995 zugenommen.

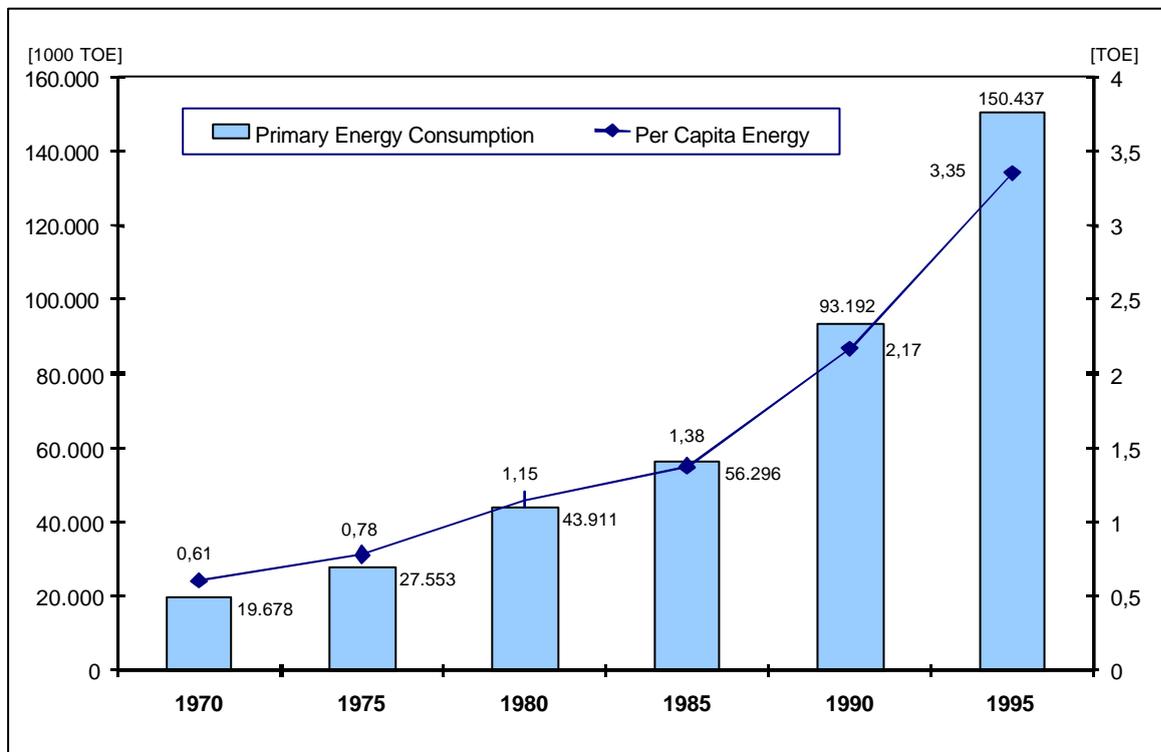


Abb. 3.1: Primärenergie- und Pro-Kopf-Verbrauch in Südkorea [66]

ⁱ TOE (Ton of Oil Equivalent), 1 TOE = 0,14 kg SKE [67]

Korea ist arm an Energiequellen und erzeugt nur einen geringen Anteil Energie bei Kohle und Wasserkraft. Zur Energieversorgung des Landes wird jährlich über 90 % der gesamten Primärenergie importiert, 1997 sogar 97 % [9]. Der finanzielle Anteil der Energie am Importvolumen beträgt ca. 19% [68]. Es besteht eine Abhängigkeit der Energieversorgung vom Import (Weltölmarkt) und von den schwankenden internationalen Ölpreisen. Durch Engpässe der Energieversorgung kann die gesamte Volkswirtschaft in eine schwere Krise geraten. Die zunehmende Industrialisierung des Landes und der wachsenden Wohlstand der Bevölkerung bedingen eine Zunahme des Energieverbrauchs.

Darum besteht für das Land eine wichtige Aufgabe darin, in der Zukunft für eine stabile Energieversorgung zu sorgen. Ein Energiesystem, das zukünftig allein auf fossile Energieträger baut, kann langfristig nicht zufriedenstellend funktionieren. Aus diesem Grund kommt einem ergänzenden Stromversorgungssystem mit Nutzung der umweltfreundlichen und unerschöpflichen Sonnenenergie eine besondere Bedeutung zu.

In dieser Arbeit wird versucht, die Vorteile der gebäudeintegrierten PV als Ergänzung zum vorhandenen Energieversorgungssystem des Landes darzustellen.

3.2 Entwicklung des Energiebedarfs in Südkorea

Die Änderung der Verbrauchsstruktur von Primärenergieträgern wurde in Korea durch die industrielle Strukturänderung geprägt, welche wirtschaftliche und technische Fortschritte und die Erhöhung der Lebensqualität widerspiegelt.

Vor der Industrialisierung, Anfang der 60-er Jahre, lag der gesamte Energieverbrauch in Korea 9,8 Millionen TOE. Das entspricht 15% des Energieverbrauchs von 1995. Dabei lag der Anteil der Kohle bei über 50%, der des Mineralöls nur bei 9,8% [69]. Das Verhältnis zwischen Kohle und Mineralöl änderte sich im Zuge der Industrialisierung des Landes in den 70-er Jahren rasch. Während im Jahr 1988 der Anteil der Kohle auf 33,4% zurückgegangen war, stieg der Anteil des Mineralöls auf bemerkenswerte 47% an. Dieses Strukturverhältnis der Energieträger wurde im Jahr 1995 mit einem Verhältnis von 18,7% zu 62,5% noch deutlicher. Damit wird klar, daß sich das Mineralöl als Hauptenergiequelle in Korea fest etabliert hat.

Seit 1990 wird, zur Sicherung der Stromversorgung und zur Verringerung der Abhängigkeit vom Import von Energieträgern, ca. 12% des gesamten Energieverbrauchs Koreas durch Atomkraftwerke, die in den 80-er Jahren geplant und gebaut wurden,

gedeckt. Dennoch ist die Abhängigkeit vom Energieimport grundsätzlich gegeben (Tab. 3.1).

Tab. 3.1: Die Energiebilanz von Südkorea [69][66]*

		1971	1976	1981	1984	1988	1991	1993	1994*	1995*
Total Energy Consumption [1000 TOE]	Primary E.	20.868	30.193	45.718	53.382	75.351	103.662	126.879	137.235	150.437
	Final E.	18.845	25.836	38.952	44.845	61.033	83.803	104.048	112.206	121.850
Composit of Primary Energy [%]	Coal	28,1	29,4	33,3	37,2	33,4	23,7	20,4	19,4	18,7
	Petroleum	50,6	58,6	58,1	51,8	47,0	57,5	61,9	62,9	62,5
	LNG	0	0	0	0	3,6	3,4	4,5	5,6	6,1
	Hydro	1,6	1,5	1,5	1,1	1,2	1,2	1,2	0,7	0,7
	Nuclear	0,0	0,0	1,6	5,5	13,3	13,6	11,5	10,7	11,1
	Fire Wood & Other	19,7	10,5	5,5	4,4	1,5	0,6 ⁺	0,5 ⁺	0,7 ⁺	0,7 ⁺
Per Capita Energy [TOE]		0,63	0,84	1,18	1,32	1,80	2,66	2,88	3,09	3,35
Overseas Dependence [%]		50,8	62,1	75,0	75,4	83,2	93,6	94,8	96,4	96,8

Note: ⁺ includes new & renewable energy

Der Trend des Endenergieverbrauchs zeigt beim Stromverbrauch in den letzten 20 Jahren eine jährliche Zuwachsrate von 13%. Während der Verbrauch von Kohle und Brennholz stark zurückgegangen ist (s. Tab. 3.2), hat der Stromverbrauch von 3,7% im Jahr 1970 auf 11,5% im Jahr 1995 zugenommen.

Im Zuge der wirtschaftlichen Entwicklung hat das Mineralöl in Korea in allen Sektoren an Bedeutung gewonnen, und der Verbrauch ständig zugenommen. Trotz Ölkrise und des höheren Ölpreises, nimmt die Nachfrage nach Mineralöl eher zu als ab. Sein Anteil am gesamten Endenergieverbrauch erreicht im Jahr 1995 fast 50 Prozent (Tab. 3.2).

Tab. 3.2: Der Anteil am Energieverbrauch nach Energieträgern in % [66]

	1970	1979	1982	1986	1995
Petroleum	41,2	54,0	47,7	53,9	48,5
Coal	31,3	30,9	37,6	39,6	14,6
Electricity	3,7	7,5	8,4	10,4	11,5
Fire Wood & Other	23,8	6,7	6,3	3,5	25,4*
Total	100	100	100	100	100
[1000 TOE]	17 882	36 971	38 711	50 128	121 850

Note: * includes LPG 4,5%, Town Gas 4,5%, Non-Fuel 15,0%

Allerdings darf man nicht darüber hinwegsehen, daß es in den letzten 10 Jahren einen kontinuierlichen jährlichen Zuwachs gab, während es im Industrie- und Transportsektor zu einer Abnahme oder zum Stillstand kam (s. Tabelle 3.4).

Tab. 3.4: Jährliche Zuwachsrate des Stromverbrauchs in verschiedenen Sektoren, nach [66] [%]

	1987-1991	1991-1995
Industry	14,9	10,2
Residential & Commercial	3,9	7,7
Transportation	14,5	13,9
Public & Others	4,4	3,2
Total	11	9,8

3.1.1 Elektrizität als Energiequelle

Der Energieverbrauch eines Landes wird im wesentlichen durch die Lebensweise seiner Bevölkerung geprägt. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Wohnbedingungen und die Ausstattung der Haushalte mit Elektro-Hausgeräten. Steigt der Lebensstandard, so kommt zum Verbrauch von Kohle der Verbrauch von Petroleum, Heizöl, Gas und Strom hinzu. Diese Entwicklung hat dazu geführt, daß hochwertige Energieträger wie Petroleum, Heizöl, Gas und Strom in den 90-er Jahren die Rolle der Kohle als Hauptenergiequelle übernommen haben. Wie Tabelle 3.5 zeigt, waren die Zuwächse insbesondere bei den Haushalten und im kommerziellen Bereich im Vergleich der Jahre 1990 und 1995 sehr hoch.

Der Strombedarf, der einen wesentlichen Aspekt dieser Arbeit darstellt, hat in letzten 20 Jahren eine jährliche Zuwachsrate von 11,8%. Im Jahr 1995 machte der Anteil des Stromverbrauchs am gesamten koreanischen Energieverbrauch 28,8% aus [66][70]. Wie in Tabelle 3.6 zu sehen ist, nimmt der Stromverbrauch in den Haushalten und im kommerziellen Sektor jährlich zu, während der Industriesektor einen gegenteiligen Trend zeigt. Bei steigenden Einkommen kann die Verbreitung von Hausgeräten und deren Dimensionierung als Hauptursache genannt werden.

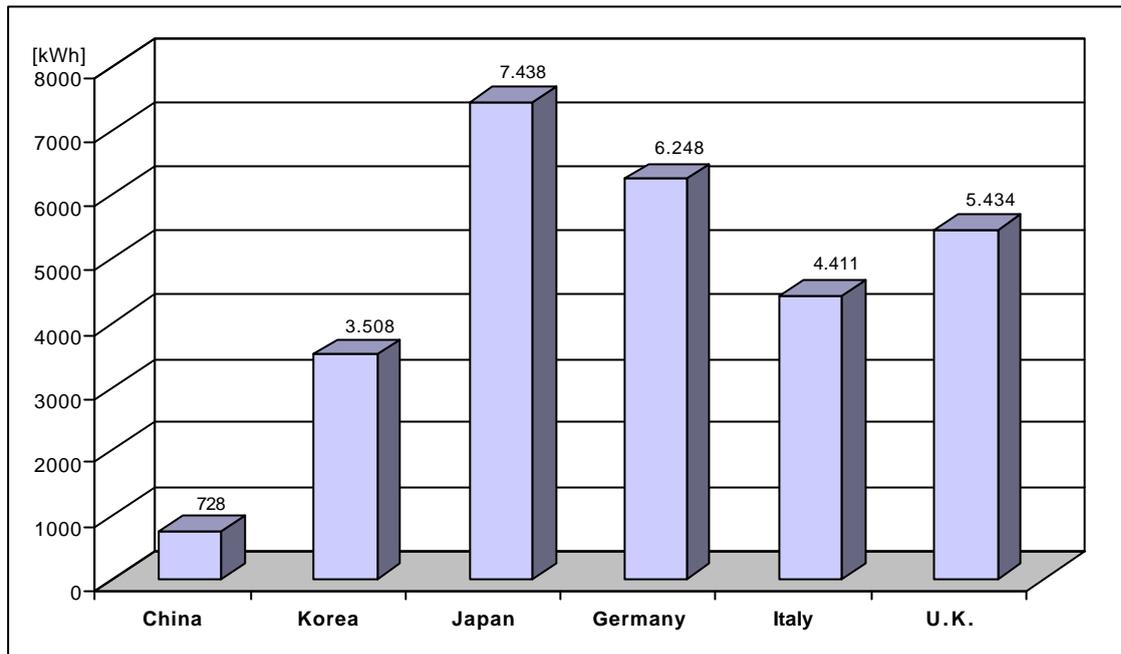


Abb. 3.2: Der Stromverbrauch pro Kopf der Bevölkerung im Jahr 1994 von verschiedenen Ländern, nach [71]

3.4 Trend des Stromverbrauchs

Auf den folgenden Seiten wird die zeitliche Abhängigkeit des Stromverbrauchs in Korea untersucht, um die Möglichkeit der ergänzenden Stromversorgung durch PV-Anwendung genauer zu untersuchen.

- Jahreszeitlicher Trend

Im Prinzip hängt der Strombedarf eines Landes mit dem verfügbaren Volkseinkommen zusammen. Als weitere Einflußgröße wirkt das koreanische Sommerklima, welches, durch den Einfluß des pazifischen Monsuns, im Sommer dem Klima der Tropen ähnelt (s. Kapitel. 4). Es zeigt sich eine deutliche Korrelation des Stromverbrauchs mit der Außentemperatur, wie dies Abbildung 3.3 im 5-jährigen Trend darstellt.

Generell nimmt der Stromverbrauch von Jahresanfang bis Ende Mai durch verminderte und noch keine Heiz- Kühllast ab, weil in der Frühlingszeit das Wetter wärmer aber nicht heiß wird. Ende Mai, Anfang Juni, kehrt sich dieser Trend um und der Spitzenbedarf wird meistens im Juli oder im August, je nach der Lage und Dauer der Hitzeperiode, erreicht. Danach fällt der Stromverbrauch bis zum Herbst wieder ab und erst mit Beginn der Heizperiode kommt es zu einem leichten Anstieg.

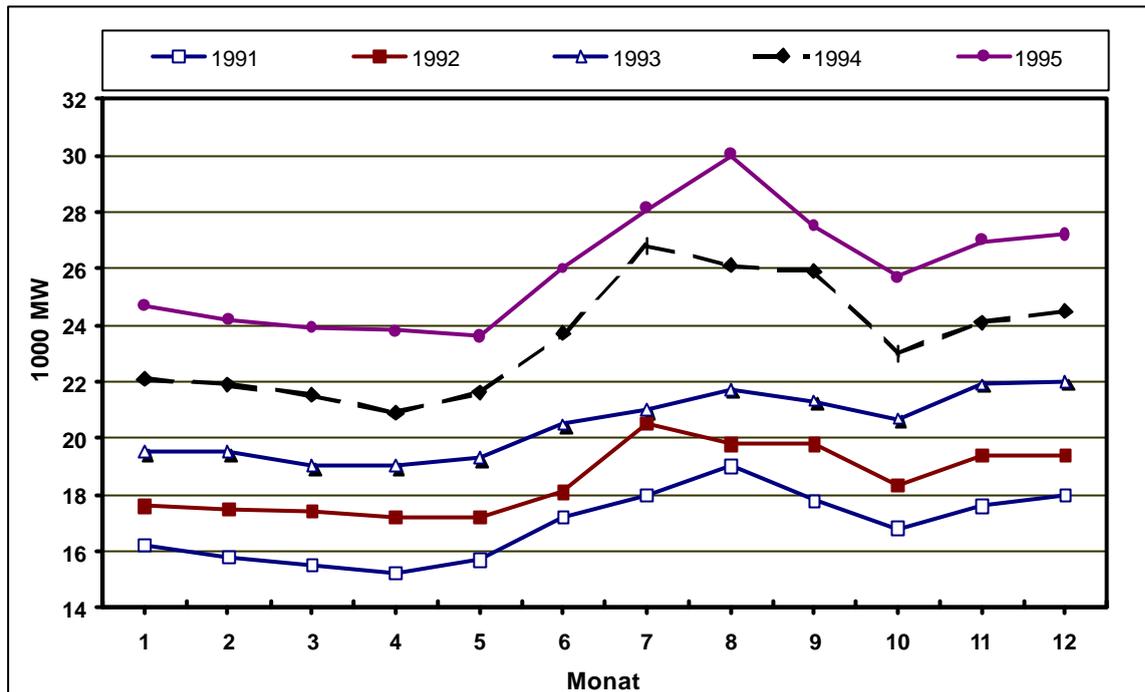


Abb. 3.3: Kennlinie des jährlichen Stromverbrauchs in Korea [72]

Der Stromverbrauch im Gebäudebereich ist durch den Bedarf für sommerliche Kühlung, elektrische Geräte und Beleuchtung einer der wichtigen Faktoren für den Gesamtenergieverbrauch des Landes. Für Bürogebäude ist er mit rund 56% sehr hoch und steigt für Geschäftsgebäude auf 65,2% weiter an [73]. Durch PV-Nutzung besteht die Möglichkeit, Energie zu sparen und gleichzeitig Strom für Spitzenlasten zu erzeugen und damit eine größere Stabilität der Stromversorgung zu erzielen.

Aus Abbildung 3.4 wird ersichtlich, daß der Stromverbrauch sich über das Jahr in Deutschland gegenläufig zu Korea entwickelt. Der winterliche Strombedarf ist sehr hoch, während im Sommer, bei gemäßigten Klimaverhältnissen gegenüber Korea, keine großen Kühllasten für Gebäude auftreten.

- Werktage, Wochenenden bzw. Feiertage

Es ist klar, daß der Strombedarf an Werktagen, an denen Industrie und Gesellschaft voll im Dienst stehen, größer ist als an Wochenenden oder Feiertagen. Dies ist in der Abbildung 3.5 deutlich zu sehen. So ist beispielsweise deutlich zu sehen, daß der Stromverbrauch am Samstagvormittag genau so hoch ist wie an anderen Werktagen, und am Nachmittag abnimmt, da in Korea das Wochenende erst am Samstagnachmittag beginnt.

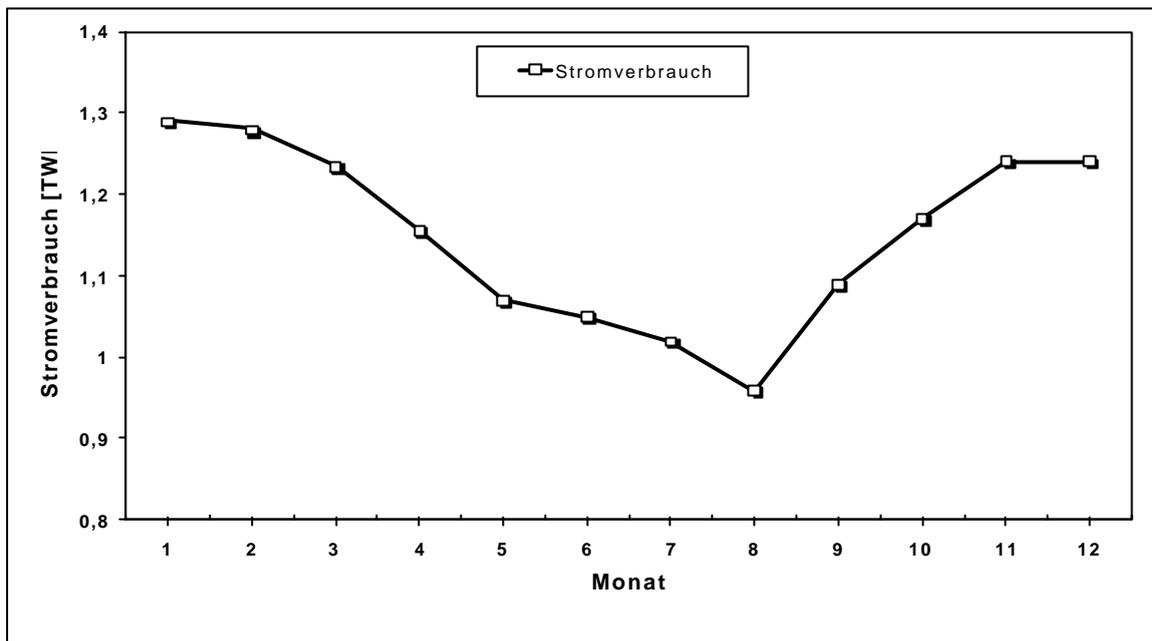


Abb. 3.4: Auf den Monat bezogener mittlerer täglicher Stromverbrauch in Deutschland für 1992 [76]

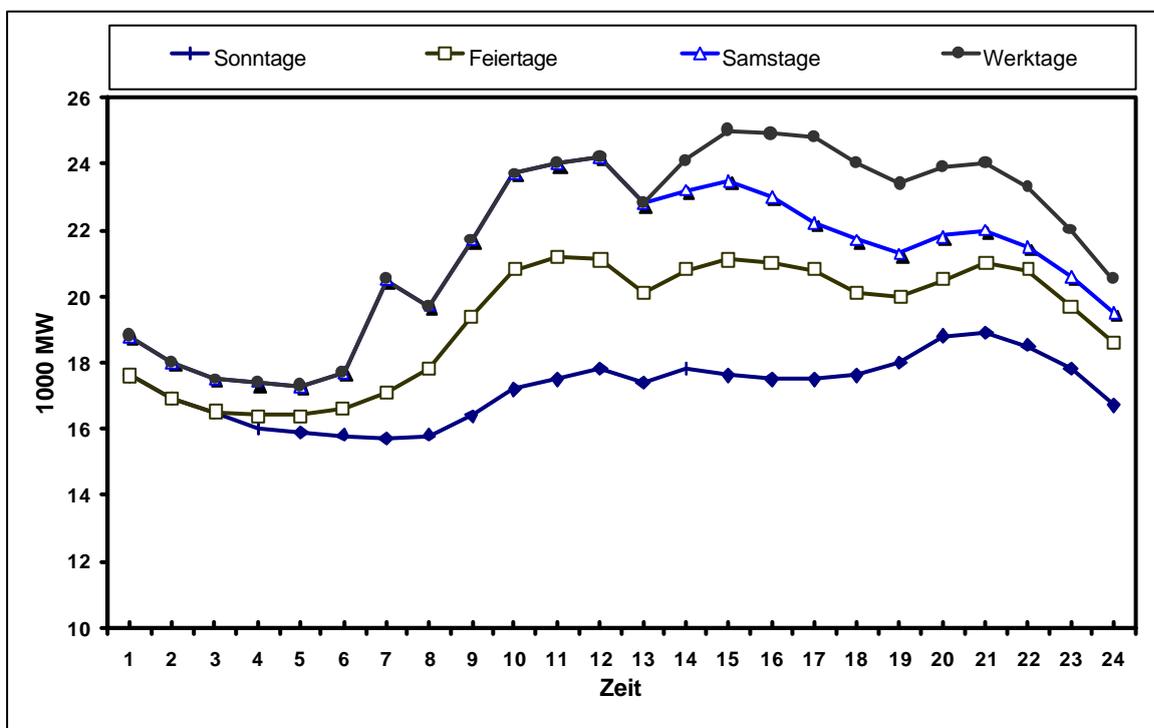


Abb. 3.5: Kennlinie des Stromverbrauchs von Werktagen, Wochenenden und Feiertagen [72]

- Tagesverlauf

Abbildung 3.6 stellt das Tagesprofil des Stromverbrauchs der letzten 5 Jahren dar. An Werktagen steigt der Stromverbrauch etwa ab 8 Uhr - Arbeitsbeginn - an. Die zeitlichen Verbrauchsspitzen liegen vormittags zwischen 10 und 12 Uhr und nachmittags zwischen 14 und 16 Uhr. Gegen 15 Uhr wird die Spitzenlast erreicht.

In dieser Abbildung ist der Unterschied zwischen Tag- und Nachtverbrauch gut erkennbar, der jedes Jahr größer wird. Dies hängt zum einen damit zusammen, daß der Prozentsatz der am Tage in Betrieb befindlichen Industrie mit der Wirtschaftsentwicklung angestiegen ist. Mit dem Zuwachs der Einkommen steigt zudem das Bedürfnis der Bevölkerung nach Behaglichkeit, das z.B. durch einen Anstieg der sommerliche Kühl-lasten dokumentiert ist.

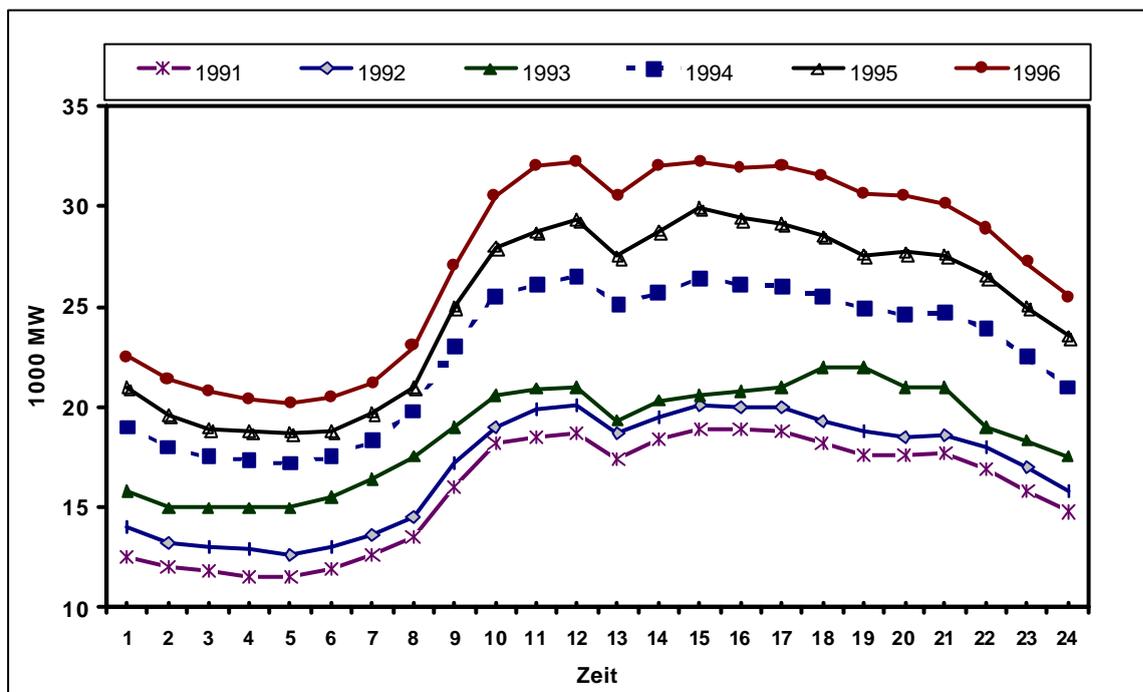


Abb.3.6: Tagesverlauf der Stromverbrauchskennlinie [72]

Das Problem der sommerlichen Kühllast ist bei Haushalten und im kommerziellen Sektor (Büro- und Verwaltungsgebäude) besonders groß. So ist der Anteil der Kühlung am gesamten Energieverbrauch besonders hoch. Abbildung 3.7, die den Stromverbrauch dieser beiden Sektoren zeigt, weist den maximalen Stromverbrauch meistens im Sommer aus. Die tageszeitlichen Spitzen des Stromverbrauchs treten, aufgrund der unterschiedlichen Nutzzeit, im Haushaltssektor am Abend durch Beleuchtung und Nutzung der Hausgeräte, und im kommerziellen Bereich während des Tages auf.

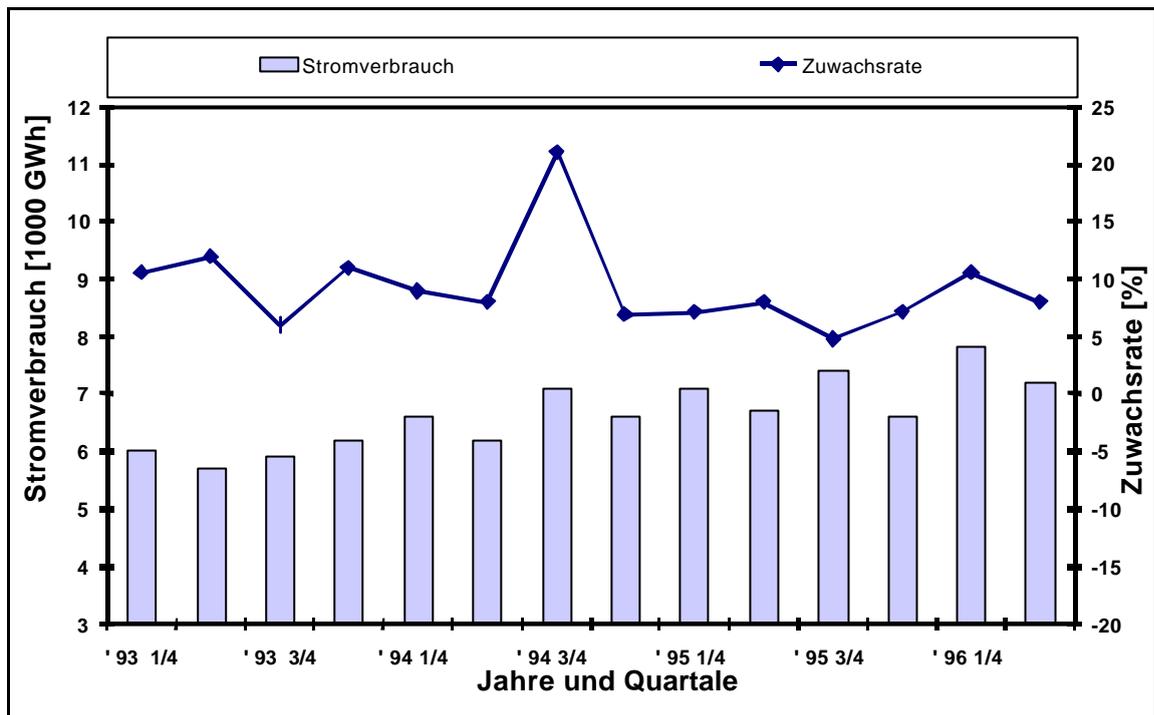


Abb. 3.7-1: Kennlinie des Stromverbrauchs der Haushalte [72]

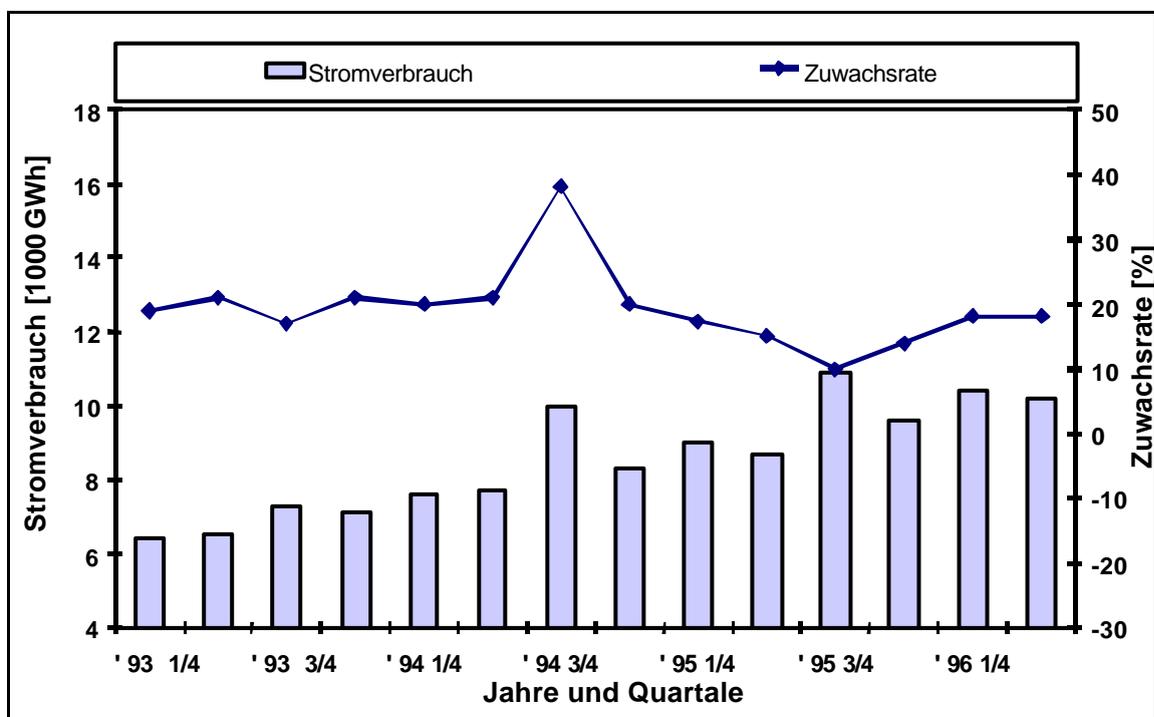


Abb. 3.7-2: Kennlinie des Stromverbrauchs kommerzieller Betriebe [72]

Ein Beispiel für die Zunahme des Stromverbrauchs der privaten Haushalte ist, daß im Sommer 1994 durch die starke Hitze eine Zuwachsrate von 20,4% gegenüber 1993, festzustellen ist, während sie gegenüber dem vergangenen Jahr bei 9,7% lag (Abb. 3.7-1). Der kommerzielle Sektor beinhaltet eine genau so hohe Zunahme wie die der Haushalte und der Anteil des sommerlichen Stromverbrauchs erreichte im Jahr 1995 25,7%, während der jährliche Anteil im selben Jahr bei 23,6% lag (Abb. 3.7-2).

3.4.1 Strombedarf zur sommerlichen Kühlung

Der Strombedarf zur sommerlichen Kühlung, der seit einigen Jahren in Korea explosionsartig zugenommen hat, zeigt in den letzten 8 Jahren eine jährliche Zuwachsrate von über 14%. So tritt der maximale Strombedarf jedes Jahr im Sommer auf (Tab. 3.7).

Tab. 3.7: Der jährliche max. Strombedarf [74]

	Max. Bedarf [MW]	Zuwachsrate [%]	Datum
1986	9.915	6,1	19. Aug.
1987	11.039	11,3	20. Juli
1988	13.658	23,7	10. Aug.
1989	15.058	10,3	10. Aug.
1990	17.252	14,6	13. Aug.
1991	19.124	10,9	20. Aug.
1992	20.438	6,9	28. Juli
1993*	21.703	6,2	25. Aug.
1994	26.696	23,0	22. Juli

*: In diesem Jahr trat der max. Bedarf im Winter auf.

Der Studie [75] eines koreanischen Forschungsinstitutes zufolge werden zur sommerlichen Kühlung ab 30° C Umgebungstemperatur mit jedem ansteigenden Grad Celsius 2 Millionen kW zusätzlich benötigt. Im Jahr 1994 erreichte die gesamte Kühllast in Korea 4.442 MW, das entspricht 20% des maximalen Stromverbrauchs des Landes.

Unterschieden nach dem Einsatzbereich teilte er sich in 18,2% für Industrie, 18,8% für Haushalte und 63,0% für den kommerziellen Sektor auf [74]. Daraus ist zu erkennen, daß die zum kommerziellen Sektor gehörigen Bürogebäude, Hotels und Warenhäuser

mit einem enorm hohen Verbrauchsfaktor zur Abtragung von Kühllasten zum maximalen Stromverbrauch beitragen.

So wird ein Zusammenhang zwischen Stromverbrauch und PV-Anwendung besonders bemerkenswert. Die Spitzenkühllast zeigt sich nach der Mittagszeit, und die maximale Leistung der PV-Anlage wird ebenfalls gegen Mittag erreicht (Abb.3.8), die Kennlinien verlaufen ziemlich identisch.

Dieses Phänomen der Gleichzeitigkeit zwischen Sonnenstrahlung und Stromverbrauch tritt in Mitteleuropa oder Deutschland nicht auf. Der Stromverbrauch im Sommer ist niedriger als im Winter, da die Klimabedingungen keinen großen Anspruch an Kühlung hervorrufen, und diese Zeit zudem Haupturlaubssaison, mit Betriebsferien großer Betriebe, ist (s. Abb. 3.4).

Daraus folgt, daß die PV-Nutzung in Korea, durch Übereinstimmung von Angebot und Nachfrage, besonders im Sommer sehr effizient sein kann und für die Stabilität der Stromversorgung insgesamt eine wichtige Rolle spielen kann.

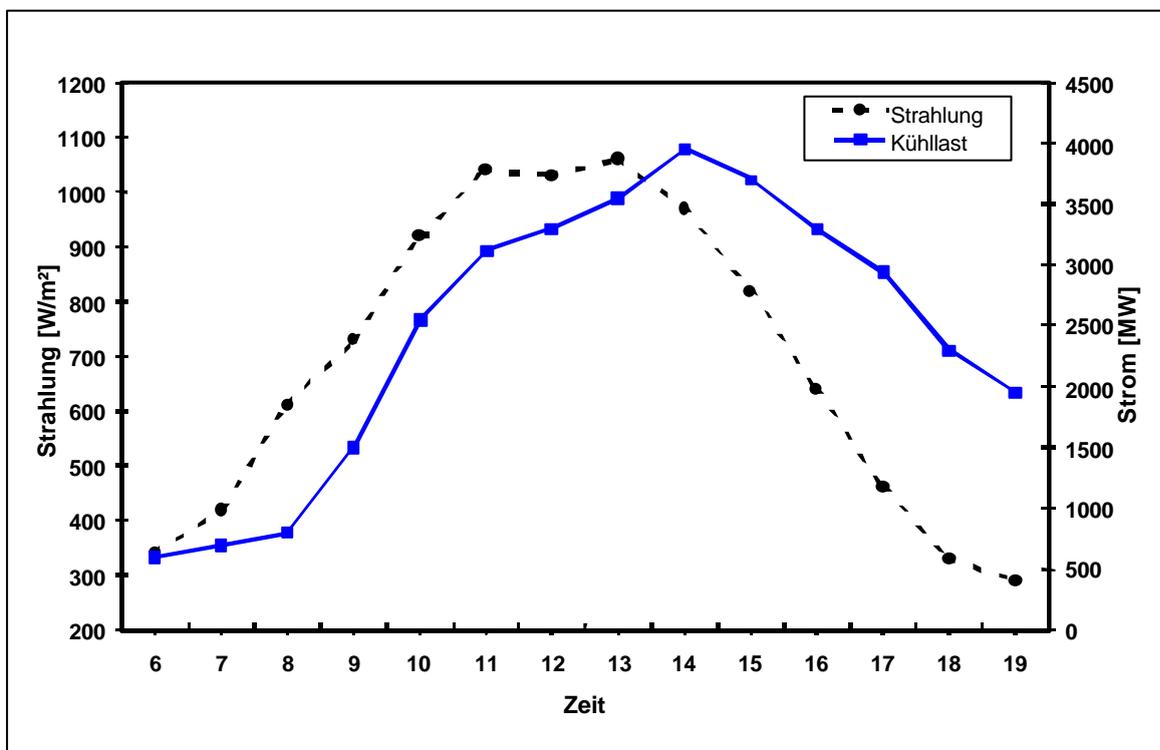


Abb. 3.8: Zusammenhang zwischen der sommerlichen Globalstrahlung und sommerlicher Kühllast in Korea [75]

Ein Bericht der IEA (International Energy Agency), der das Verhältnis zwischen Angebot und Nachfrage für Strom in Korea untersucht, macht darauf aufmerksam, daß die wahren Reservenⁱ zwischen der gesamten Anlagenleistung von Kraftwerken und dem maximalen Stromverbrauch im Jahr 1993 nur bei 2,5% lagen, obwohl die theoretischen Reserven mit 10,4% berechnet wurden [77].

Eine mögliche Gefahr liegt darin, daß das Land große wirtschaftliche Verluste erleiden könnte, wenn ein einziges Kraftwerk bei maximalem Strombedarf ausfallen und in Folge dessen die Stromversorgung des Landes stark beeinträchtigt würde.

3.4.2 Strompreis

Die Strompreise in Korea sind jahrelang durch die staatliche Energiepolitik sehr niedrig gehalten worden, um die internationale Konkurrenzfähigkeit der Industrie zu fördern. Der Preis wird für Haushalte, kommerziellen Bereich, Industrie, Erziehung und Landwirtschaft unterschiedlich festgelegt.

In diesem Abschnitt wird der koreanischen Strompreis für Industrie und Haushalte, im internationalen Vergleich untersucht und die daraus folgenden Probleme und Möglichkeiten dargestellt.

Tab. 3.8: Strompreis, in % bezogen auf Korea, für verschiedene Länder in 1996 [78]

[US \$/kWh]

	Korea	Japan	Taiwan	U.K.	Germany
Industry	0,0677	0,1572	0,0682	0,0702	0,0790
[%]	100	232	101	104	117
Residential	0,1035	0,2298	0,0942	0,1295	0,1666
[%]	100	222	91	125	161

In Tabelle 3.8 erkennt man den deutlich niedrigeren Strompreis für Korea im Vergleich zu Japan, dessen Energiestruktur mit Angebot und Nachfrage sehr ähnlich ist. Das Preisverhältnis für Haushaltsstrom zwischen Korea und Japan beträgt 1:2,22, für Korea und Deutschland 1:1,61.

ⁱ Die Reserven verschiedener Länder im selben Jahr [66]:

1) Deutschland; 59%, 2) England; 12%, 3) Italien; 44%, Japan; 19%(1994)

Die Steigerungsrate des Strompreises in den letzten 15 Jahren ist durch gezielte Intervention der Regierung unter der allgemeinen Preissteigerungsrate geblieben. Der niedrige Strompreis weckt bei den koreanischen Verbrauchern den Eindruck, daß der Preis heute bei ca. 50% des Preises von 1990 liegt, Strom also vergleichsweise billig ist. Damit ist vorprogrammiert, daß der Stromverbrauch weiter drastisch zunehmen wird.

Folgende Probleme resultieren aus dem niedrigen Strompreis:

zum einen ist es schwierig, Geldmittel für Investitionen zur Energieversorgung bereit zu stellen. Andererseits ist die Umweltverschmutzung bei hohem Verbrauch eklatant. Ist die Verringerung des Stromverbrauchs gewollt, und dies besonders unter dem Gesichtspunkt des Klimaschutzes, so besteht eine Dringlichkeit zur Anhebung der Energiepreise eventuell gestaffelt nach Lastfällen. Darüber hinaus ist es notwendig, die Aufmerksamkeit auf erneuerbare Energieträger zu richten und Kräfte zu ihrer verstärkten Nutzung zu mobilisieren.

3.5 Energieverbrauch und Umweltbelastung

Die weltweite Tendenz des Energieverbrauchs zeigt, daß mit steigendem Einkommen der Energieverbrauch, bzw. der Pro-Kopf-Verbrauch, ansteigt. Dies hat wesentliche Auswirkungen für die Umwelt. Stichworte sind hier Klimaänderung und Treibhauseffekt. Durch die Verbrennung der fossilen Energieträger, die rund 80% der energiebedingten CO₂-Emissionen verursachen, wird wesentlich die Entstehung der Treibhausgas-Emissionen verursacht [79].

In Korea ist das Umweltproblem, in den letzten 30 Jahren durch die Industrialisierung entstanden, jetzt ins Bewußtsein der Bevölkerung gedrungen. Vor allem ist bei der Umsetzung des internationalen Klimaschutzvertrages vorauszusehen, daß der zukünftige Energieverbrauch, unter dem Anspruch die Kohlendioxid-Emissionen zu verringern, sinken muß. Die Beschränkung der den Treibhauseffekt verursachenden Emissionen, wie CO₂, SO₂ oder NO_x, führen zu unausweichlichen Konsequenzen. Dazu gehört nicht zuletzt die Suche nach Nutzungen erneuerbarer Energien.

Eine Studie des koreanischen Energiewirtschafts-Institutes stellt fest, daß der gesamte CO₂-Ausstoß in Korea im Jahr 1995 circa einhundert Millionen TOE erreichte und in den kommenden 20 Jahren auf zweihundert Millionen TOE ansteigen wird [77]. Tabelle 3.9 stellt den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß verschiedener Länder im Jahr 1995 dar. Die Tabelle zeigt, daß Korea mit Blick auf das Gesamt-

inlandsprodukt (GDP) bei geringstem pro-Kopf-Energieverbrauch den größten CO₂-Ausstoß hat, Dies erlaubt wiederum Rückschlüsse auf den Entwicklungsstandard der heute in Korea genutzten Kraftwerkstechnologie.

Insgesamt haben die für die CO₂-Emission relevanten fossilen Energieträger zwischen 1990 und 1995 einen Anteil von über 56% an der gesamten Stromerzeugung (s. Tabelle 3.10). Die Stromerzeugung bzw. der Stromverbrauch ist daher als wichtiger Faktor bei der Betrachtung der Umweltbelastung zu sehen.

Für die Atomenergienutzung, die in Korea zur Zeit einen 40%-tigen Anteil an der Stromerzeugung (Tab. 3.10) hat, zeigte der Unfall von Tschernobyl die damit verbundenen Risiken auf.

Tab. 3.9: Vergleich des CO₂-Ausstoßes mit anderen Ländern im Jahr 1990 [78]

	Korea	Japan	Germany	Austria	U.K.	U.S.A.
TPES/pop. toe/Capita	3,26	3,96	4,15	3,28	3,79	7,9
TPES/GDP toe/1000 US \$*	0,4	0,16	0,19	0,15	0,21	0,34
Elec. Cons./pop. kWh/Capita	3.907	7.587	6.330	6.304	5.559	12.797
CO₂/TPES t CO ₂ /toe	2,42	2,31	2,61	2,27	2,55	2,52
CO₂/pop. t CO ₂ /Capita	7,87	9,17	10,83	7,45	9,64	19,88
CO₂/GDP Kg CO ₂ /US \$*	0,97	0,36	0,49	0,34	0,55	0,85

Note: TPES-Total Primary Energy Supply, GDP-Gesamtinlandsprodukt

Tab. 3.10: Anteil der Energieträger an der Stromerzeugung [66]

	1971 - 1975	1976 - 1980	1981 - 1985	1986 - 1990	1990 - 1995
Oil incl. LNG	83	83,8	62,2	23,4	34,6
Coal	6,5	4,9	15,3	22,3	21,4
Nuclear	0	5,2	17,0	48,6	40,5
Hydro	10,5	6,1	5,5	5,7	3,5

[%]

Mit Blick auf die internationale Energiepolitik wird das heutige Energiesystem, gestützt auf fossile Energieträger und Atomenergie, wegen der Emissions- und Entsorgungsprobleme nicht als langfristige Lösung dienen können.

Es ist daher erforderlich, sich über eine Strukturänderung in der Energieversorgung und eine rationellere Energieversorgung Gedanken zu machen, z.B. die unerschöpfliche und umweltfreundliche Sonnenenergie mittels PV zu nutzen, um die CO₂-Emission zu verringern und die Sonnenenergie konkurrenzfähig zu machen.

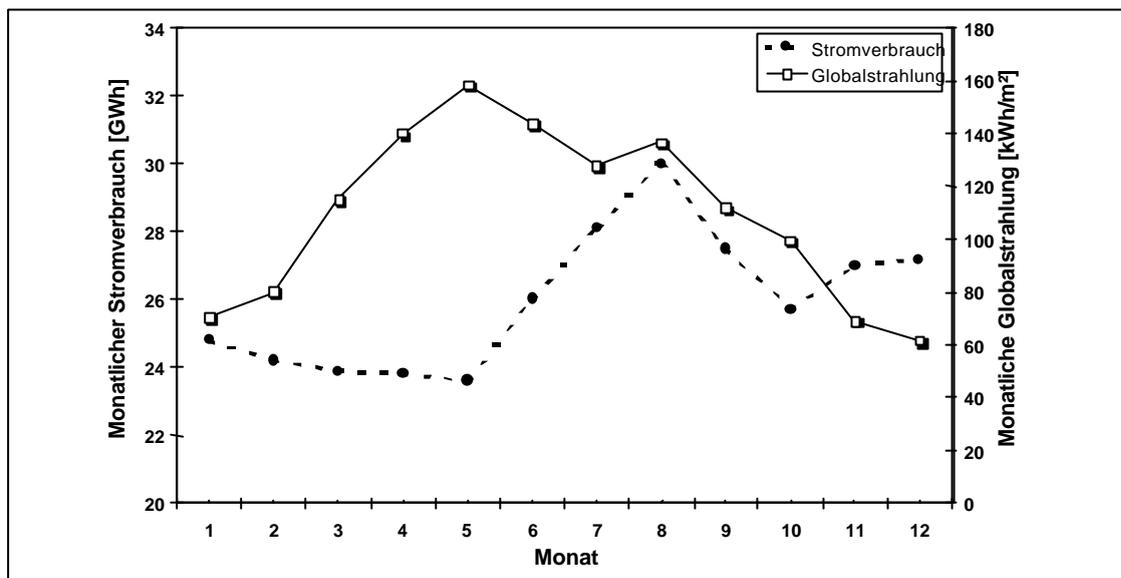


Abb. 3.9-1: Charakteristische Kennlinien des monatlichen Stromverbrauchs im Jahr 1995 und der monatlichen Globalstrahlung in Korea [72][80]

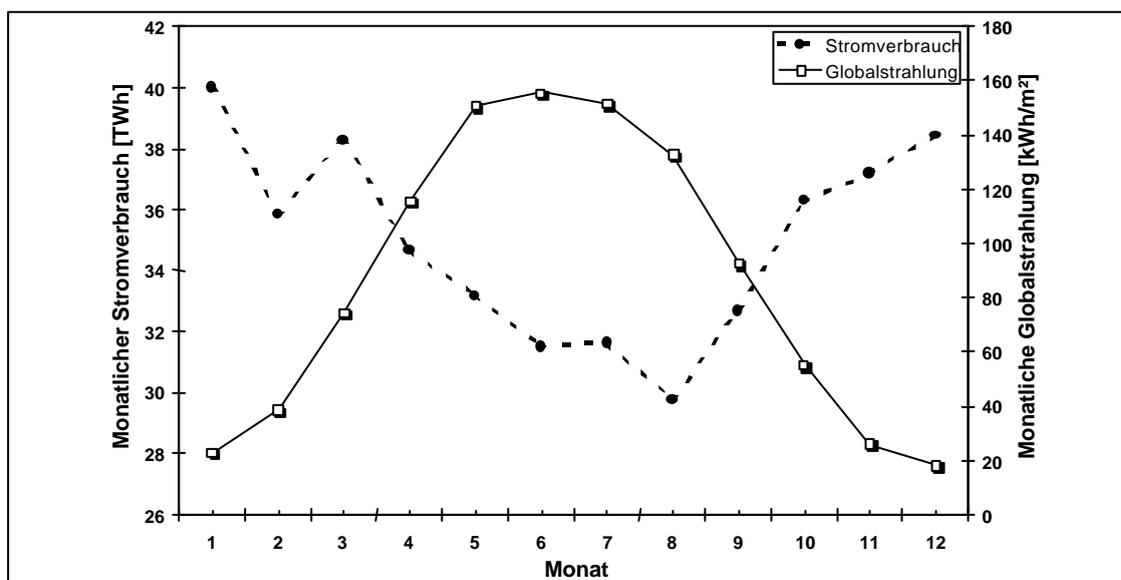


Abb. 3.9-2: Charakteristische Kennlinien des monatlichen Stromverbrauchs im Jahr 1992 und der monatlichen Globalstrahlung für Deutschland [76][81]

3.6 Schlußfolgerung

Die bisherigen Untersuchungen in diesem Kapitel machen deutlich, daß der zukünftige Energiebedarf bei weiterer Entwicklung des Landes stetig zunehmen wird wie bisher. Die Bedeutung der Elektrizität für den Endverbraucher in der modernen Gesellschaft wird weiterhin ansteigen.

Für die PV-Nutzung in Korea ist der parallele Verlauf der charakteristischen Kurve des jährlichen Strombedarfs, mit dem Maximum im Sommer, zu der für die PV-Nutzung wichtigen Globalstrahlung, deren Maximum ebenfalls im Sommer liegt, gerade in den Sommermonaten weitgehend gleich verläuft, bemerkenswert. Daher kann es günstig sein, mit PV-Anlagen den Strombedarf eines Gebäudes zu decken. Die Photovoltaik kann aufgrund der Gleichzeitigkeit der Maxima von Solarangebot und Strombedarf als ergänzendes System effektiv Spitzenlasten abtragen, die durch die Gebäudekühlung hervorgerufen werden.

Wie in Abbildung 3.9 ersichtlich ist, liegen in Korea und Deutschland weitgehend verschiedene Bedingungen für die PV-Nutzung vor. Die Nachfrage nach Strom in Korea stimmt mit dem Angebot der Sonneneinstrahlung überein, während sie in Deutschland weit auseinander geht, d.h. die PV-Nutzung in Korea kann effizienter und wirtschaftlicher sein als in Deutschland.

4 Das Potential der photovoltaischen Stromerzeugung in Südkorea

4.1 Geographie

Die koreanische Halbinsel erstreckt sich von östlichen Ende des asiatischen Kontinents nach Süden. Sie ist von Norden nach Süden rund 1000 km lang und an der schmalsten Stelle 216 km breit. Korea liegt als Brückenland zwischen dem asiatischen Festland und dem von ihm durch die etwa 200 km breite Korea-Straße getrennten japanischen Inselland. Die nördliche Grenze mit China und Rußland wird durch die Flüsse Amnok (Yalu) und Tuman gebildet.

Das Land wird im Westen durch das Gelbe Meer und im Osten durch das Ost Meer (Japanisches Meer) begrenzt (Abb. 4.1).

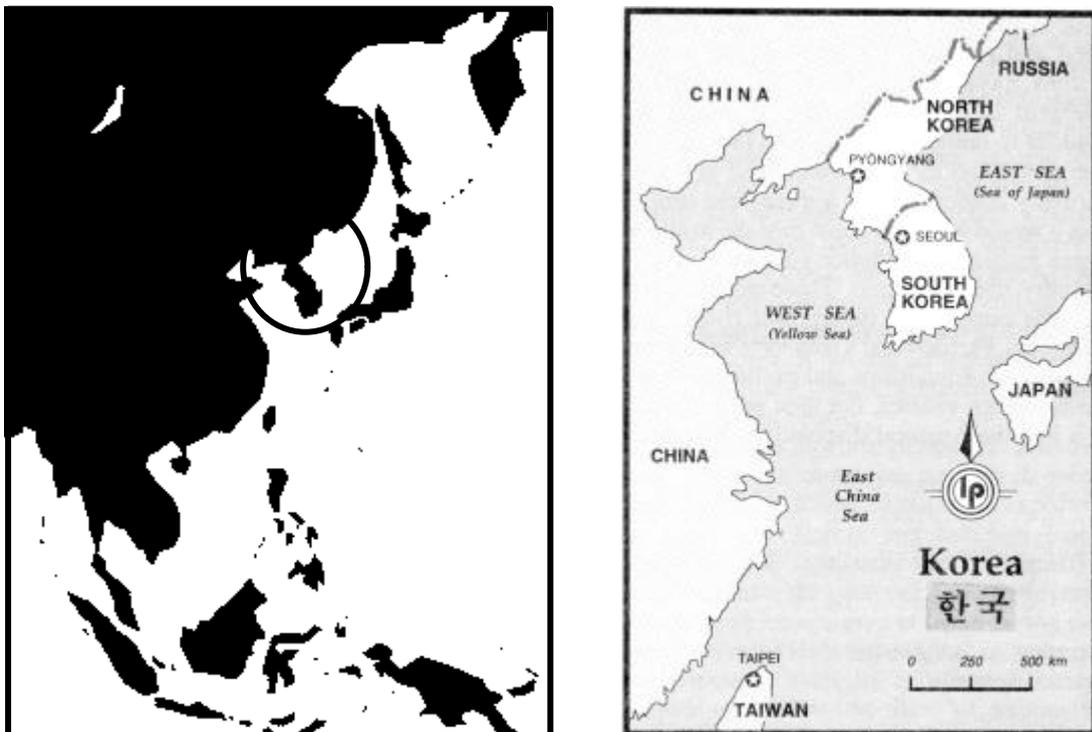


Abb. 4.1: Geographische Lage von Korea [82]

Nicht zufällig ist die Lage aus koreanischer Sicht für die Entwicklung des Landes von großer Bedeutung. Seine geopolitisch sensible Lage zwischen den Großmächten hat Korea im Laufe seiner Geschichte häufig zur Landbrücke für Feldzüge gemacht.

Die Bevölkerung ist weitgehend homogen. 44,8 Mio. Koreaner leben heute im Süden, weitere 23,9 Mio. im Norden. Mit einer durchschnittlichen Populationsdichte von 452 Einw./km² (1995) bei einer Gesamtfläche von 221,325 km² liegt Südkorea als Flächenstaat weltweit im Spitzenbereich.

In den Agglomerationsräumen rund um die Großstädte des Landes gibt es extrem hohe Bevölkerungskonzentrationen, die um ein vielfaches über die durchschnittliche Dichte hinausgehen. Der Urbanisierungsgrad des Landes lag 1995 bei 77,7% [83].

Mit Regierungsreformen, rascher Industrialisierung und steigenden Exporten in den letzten 30 Jahren hat Südkorea das Interesse der Weltöffentlichkeit auf das koreanische Wirtschaftswunder gelenkt.

4.2 Geographische- und Topographische Lage

Die Halbinsel liegt zwischen 124°11' und 131°53' östlicher Länge und zwischen 33°06' und 43°01' nördlicher Breite und hat eine Fläche von 221,325 km² und davon hat Südkorea (Republik Korea) 99,314 km² oder 45% der Gesamtfläche, vergleichsweise flächenmäßig etwas kleiner als das ehemalige Westdeutschland. Das Land ist seit dem Ende des 2. Weltkrieg in zwei Teile geteilt, das freie Südkorea (Republik Korea) und das kommunistische Nordkorea.

Das Rückgrat der Halbinsel ist ein leicht geschwungenes Gebirge, das sich nach Nordosten ausdehnt und auf die Ostmandschurischen Bergketten trifft. Während der Bogen der koreanischen Halbinsel nach Osten hin steil ins Ostmeer (japanische See) abfällt, läuft er nach Westen relativ flach aus. Im Süden ist das Land verhältnismäßig eben, während der Norden gebirgig ist. Mit der Gebirgsachse im östlichen Teil der Halbinsel verläuft auch die Hauptwasserscheide nahe der Ostküste, so daß die nach Westen fließenden Flüsse einen wesentlich längeren Weg bis zum Meer zurücklegen als die Randflüsse im Osten. Die starke Talbildung gibt Korea den Charakter eines Gebirgslandes, obwohl die Höhen relativ gering sind. Mehr als 70% der Halbinsel sind gebirgig.

Bei dem geschilderten topographischen Aufbau kann es nicht überraschen, daß die für die Besiedlung und landwirtschaftliche Nutzung in Frage kommenden Flächen nur einen kleinen Anteil der Landesfläche einnehmen (Tab. 4.1).

Tab. 4.1: Bodennutzung in (Süd)Korea und der BRD [84]

	(Süd)Korea	BRD
Landwirtschaftlich genutzte Fläche	22,7 %	54,2 %
Waldfläche - Forsten	67,2 %	29,0 %
Siedlungsfläche	6,0 %	10,5 %
Sonstige Nutzung	4,1 %	6,3 %

4.3 Meteorologische Lage

Korea liegt innerhalb der gemäßigten Zone, die sowohl dem kontinentalen als auch dem maritimen Einfluß unterliegt. Die vier Jahreszeiten sind klar gegeneinander abgegrenzt. Die Natur verändert ihre Gestalt entsprechend der Jahreszeit sehr stark. Koreaner haben ein sehr ausgeprägtes Gefühl für die Jahreszeit, was sich in koreanischer Kultur und Kunst sowie nicht zuletzt in der Wohnkultur deutlich widerspiegelt [85].

Das Klima wird weitgehend von den je nach den Jahreszeiten wechselnden Winden bestimmt. Im Winter (Dezember, Januar, Februar) führt der Nordwestmonsun kalte, kontinentale Luftmassen aus Sibirien heran, wobei auch im südlichen Teil der Halbinsel regelmäßig Fröste und Schneefälle auftreten. Mit dem Sommermonsun (Juni, Juli, August) strömt feuchte Meeresluft vom Ozean aus Süden oder Südosten herein. Die Sommermonate sind dementsprechend niederschlagsreich, warm und schwül. Der Wechsel zwischen kaltem Winter und warmem, schwülem Hochsommer vollzieht sich von April bis Juni, bzw. September bis Oktober, nicht allzu rasch, so daß sich im Frühjahr und Herbst eine längere Witterungsperiode mit angenehm mildem Klima einstellt.

4.4 Koreanische Klimabedingungen

In diesem Abschnitt werden die koreanische Klimabedingungen untersucht. Der Leitgedanke dieser Untersuchung ist, es mit gezieltem Einsatz von PV-Anlagen zur Stromerzeugung, einen möglichst hohen und effizienten Stromertrag zu erzielen.

In den vielfach heiteren Wintermonaten fällt meist nur wenig Niederschlag (20 bis 40 mm/ Monat). Die Durchschnittstemperaturen reichen von +6° Celsius an der Südküste bis -19° Celsius an der Grenze zu China [86]. Auf ein mildes, bewölkt und regenreiches, aber keineswegs unfreundliches Frühjahr, und ebensolchen Vorsommer, folgt im Juli und August die heiße und schwüle, für den Europäer klimatisch belastende, Zeit. Die Monatsmitteltemperaturen erreichen 25 bis 29° Celsius bei relativen Feuchtigkeitsgraden von 75% bis 80%. Die Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter nehmen von Süden nach Norden zu. Die größte Niederschlagsmenge fällt in dieser Sommermonsunzeit, und beläuft sich auf etwa 700 bis 1 300 mm pro Jahr.

Wie im Kapitel 2 besprochen, wird die Sonnenenergienutzung mit PV-Anwendung an Gebäuden von vielen Klimafaktoren, wie Globalstrahlung, Temperaturen, Sonnenscheindauer und Einfallswinkel der Sonnenstrahlung, beeinflusst. Die Sonnenstrahlung und ihre Auswirkung sind abhängig von den besonderen örtlichen Klimaverhältnissen, von Jahreszeiten und Himmelsrichtung, und auch von Verschattung durch Gebäude oder Vegetation.

Die vorgestellten statistischen Klimadaten werden aus mehreren gemessenen Jahresmittelwerten abgeleitet und sind damit aussagekräftig genug, um als Planungsgrundlage bei der PV-Integration an Gebäuden zu dienen.

Die wichtigsten zu betrachtenden klimatischen Faktoren sind:

- Globalstrahlung
- Sonnenscheindauer
- Sonnenstand
- Temperatur und Niederschlag
- Windverhältnisse

4.4.1 Globalstrahlung

Als Sonnenstrahlung werden grundsätzlich zwei verschiedene Strahlungen betrachtet: zum einen die Direktstrahlung, die von der Sonne direkt die Erdoberfläche erreicht. zum anderen die Diffusstrahlung, die aus allen Himmelsrichtungen gestreut eintrifft. Das Verhältnis der beiden Strahlungsarten ist nicht immer gleich, sondern abhängig von den geographischen und klimatischen Lagebedingungen. Als Globalstrahlung wird die Summe von Direkt- und Diffusstrahlung bezeichnet. Dazu wurde die Globalstrahlung(G) von Palz [87] definiert wie folgt:

Grösse	Symbol	Definition	Einheit
Globalstrahlung	G	Summe von direkter und diffuser Sonnenstrahlung auf eine horizontale Ebene	W/m ²
Stündliche Globalstrahlung	Gh	Stundenintegral der Globalstrahlungsstärke	Wh/m ²
Tägliche Globalstrahlung	Gd	Tagesintegral der Globalstrahlungsstärke	Wh/m ²
	Gm	Monatsmittel der täglichen Globalstrahlung	Wh/m ²

Tabelle 4.2 zeigt die Globalstrahlung von 16 ausgewählten koreanischen Städten. In dieser Tabelle wurde das Jahresmittel der täglichen Globalstrahlungsstärke (Gm, Einheit kWh/ m² d) auf horizontalen und verschiedenen geneigten Flächen nach [11] dargestellt.

Die Auswertung zeigt, daß die jährliche durchschnittliche Globalstrahlung in Korea ca. 1314 kWh/m² beträgt. Die höchsten Werte werden in Jin-Ju, im extremen Süden von Korea erreicht. Die dortige Verteilung der mittleren täglichen Globalstrahlung zeigt die Abbildung 4.2 in kWh pro Tag und bezogen auf die horizontale Fläche von 1 m².

Die Globalstrahlung erreicht im Bereich an der Südküste und auf der Halbinsel Tae-an an der Westküste ihre Spitzenwerte. Verminderte Werte werden in Seoul und auf der Nordseite der Insel Che-ju festgestellt. Dies ist auf die starke Eintrübung der Atmosphäre infolge von Luftverschmutzung und erhöhter Bewölkung zurückzuführen.

Ausrichtung		E					S					W					SE und SW				
Neigung	0°	21°	30°	45°	60°	90°	21°	30°	45°	60°	90°	21°	30°	45°	60°	90°	21°	30°	45°	60°	90°
Chun-chen	3,46	3,39	3,31	3,08	2,75	2,09	3,81	3,86	3,80	3,56	2,64	3,40	3,34	3,16	2,88	2,31	3,70	3,72	3,63	3,38	2,62
Kang-nung	3,52	3,45	3,37	3,14	2,79	2,12	3,93	4,00	3,97	3,75	2,83	3,46	3,40	3,23	2,95	2,38	3,76	3,76	3,66	3,41	2,64
Seoul	3,26	3,19	3,12	2,90	2,59	1,97	3,60	3,65	3,60	3,39	2,54	3,20	3,14	2,98	2,72	2,18	3,49	3,52	3,43	3,21	2,49
Won-ju	3,46	3,39	3,31	3,08	2,74	2,09	3,81	3,85	3,79	3,55	2,64	3,40	3,33	3,16	2,88	2,31	3,70	3,72	3,62	3,38	2,61
So-san	3,79	3,71	3,62	3,37	2,99	2,28	4,19	4,25	4,18	3,92	2,90	3,72	3,65	3,41	3,15	2,53	4,07	4,09	4,00	3,73	2,88
Chong-ju	3,56	3,49	3,40	3,18	2,82	2,14	3,91	3,96	3,89	3,64	2,69	3,50	3,43	3,25	2,96	2,37	3,80	3,82	3,72	3,46	2,67
Dae-jon	3,52	3,47	3,32	3,13	2,78	2,18	3,87	3,92	3,85	3,61	2,67	3,46	3,39	3,21	2,92	2,34	3,76	3,78	3,68	3,43	2,64
Po-hang	3,58	3,51	3,42	3,18	2,83	2,15	3,96	4,01	3,96	3,72	2,77	3,52	3,45	3,27	2,97	2,39	3,84	3,86	3,77	3,52	2,72
Dae-gu	3,56	3,49	3,40	3,17	2,81	2,14	3,93	3,98	3,91	3,67	2,73	3,50	3,43	3,25	2,96	2,37	3,81	3,83	3,74	3,48	2,69
Chon-ju	3,47	3,40	3,31	3,08	2,74	2,08	3,80	3,83	3,76	3,51	2,59	3,40	3,34	3,15	2,87	2,29	3,69	3,70	3,60	3,35	2,58
Kawang-ju	3,63	3,55	3,47	2,22	2,86	2,18	3,98	4,02	3,94	3,68	2,70	3,56	3,49	3,30	3,00	2,40	3,87	3,88	3,77	3,50	2,70
Bu-san	3,72	3,64	3,55	3,30	2,93	2,23	4,11	4,17	4,11	3,86	2,87	3,65	3,58	3,39	3,08	2,47	3,99	4,01	3,92	3,65	2,82
Mok-po	3,87	3,78	3,69	3,43	3,05	2,32	4,23	4,27	4,17	3,88	2,82	3,80	3,72	3,51	3,19	2,55	4,11	4,12	4,00	3,71	2,84
Che-ju	3,42	3,34	3,25	3,02	2,69	2,04	3,62	3,60	3,46	3,16	2,22	3,35	3,27	3,07	2,78	2,19	3,55	3,53	3,38	3,09	2,33
Jin-ju	3,92	3,84	3,74	3,48	3,09	2,35	4,37	4,44	4,39	4,13	3,08	3,85	3,78	3,58	3,26	2,62	4,23	4,26	4,17	3,88	3,02
Young-ju	3,75	3,68	3,59	3,34	2,97	2,26	4,17	4,23	4,17	3,92	2,92	3,69	3,62	3,43	3,13	2,52	4,04	4,07	3,98	3,71	2,88
Summe	3,60	3,53	3,46	3,20	2,84	2,16	3,96	4,00	3,93	3,68	2,73	3,53	3,46	3,27	2,98	2,39	3,84	3,86	3,76	3,50	2,70
	1,00	0,98	0,96	0,89	0,79	0,60	1,10	1,11	1,09	1,02	0,76	0,98	0,96	0,91	0,83	0,66	1,07	1,07	1,04	0,97	0,75

Tab. 4.2: Mittlere jährliche Tagessummen der Globalstrahlung auf geneigten Flächen je nach verschiedenen Orientierung in kWh/m².Tag von 16 koreanischen Wetterstationen, nach [11]

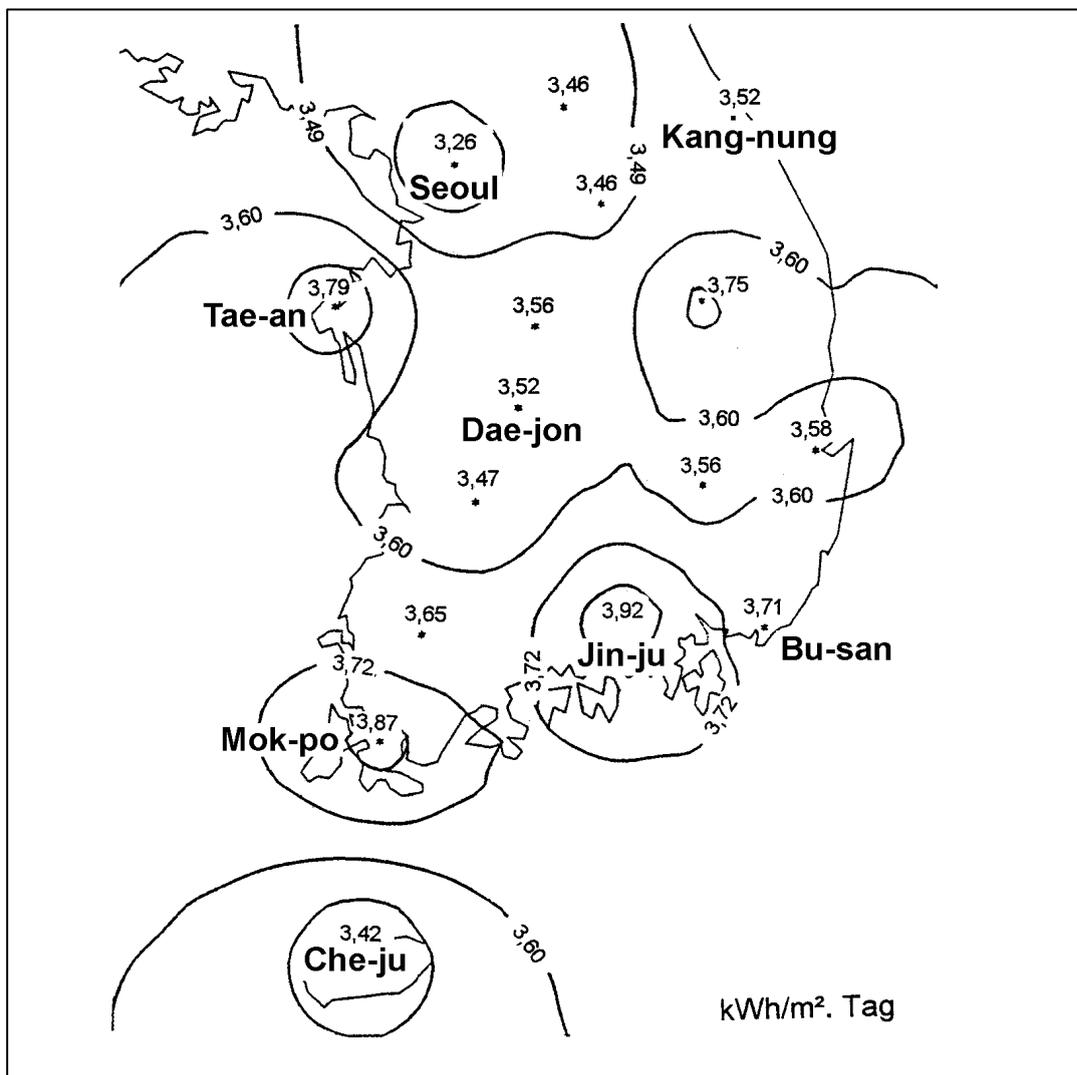


Abb. 4.2: Mittelwerte der Globalstrahlung auf horizontale Fläche, nach [11]

Die Analyse der jährlichen Globalstrahlung nach [11] zeigt, daß die Werte im Frühling und im Sommer jeweils 24%, 23% höher als im Durchschnitt und im Herbst und im Winter ca. 14% niedriger sind (s. Tab. 4.6).

Die direkte Sonnenstrahlung, die für die PV-Anwendung bedeutsam ist, hat in Korea außerhalb der Regenzeit den überwiegenden Anteil an der Globalstrahlung. In Tabelle 4.3 wird die Globalstrahlung für Korea aus vorhandenen 13-jährigen Mittelwerten der Jahre 1982 bis 1994 [11] nach diffusen und direkten Anteilen aufgeschlüsselt. Trotz des niedrigen Anteils der Direktstrahlung erreicht die sommerliche Globalstrahlung als Folge des hohen Sonnenstandes überdurchschnittliche Werte (s. Abb. 4.5).

Die Differenz zwischen Sommer und Winter ist durch den hohen Anteil an Direktstrahlung bei klarem Himmel in den Wintermonaten nicht sehr beträchtlich.

Tab. 4.3: Zusammensetzung der koreanischen Globalstrahlung, nach [11]

Jahreszeit	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Diffus/Direkt	46/54 %	54/46 %	44/56 %	42/58 %

Frühling: März, Apr., Mai Sommer: Jun., Jul., Aug. Herbst: Sep., Okt., Nov. Winter: Dez., Jan., Feb.

Es wurde bereit erwähnt, daß neben Standort und Jahreszeit auch die Orientierung und Neigung der Empfangsfläche einen Einfluß auf den Energieertrag von PV-Anlagen ausüben (s. Abschnitt 2.3.5). In diesem Zusammenhang werden die Meßwerte der Globalstrahlung für Südkorea als Jahresmittelwerte für verschiedene Städte auf geneigten Flächen unterschiedlicher Orientierung in kWh/m² in Tabelle 4.2 angegeben.

Aus dieser Tabelle ergeben sich folgende Schlußfolgerungen:

1. Die maximale PV-Stromenergie in koreanischen Breiten (37°, N) läßt sich dann ernten, wenn die Empfangsfläche nach Süden ausgerichtet ist und der Neigungswinkel zur Horizontalen etwa 30° beträgt.
2. Allerdings ergeben sich bei Neigungswinkel zwischen von 20° bis 45° bei dieser Orientierung nur geringe Abweichungen.
3. Die Orientierung nach Südost bzw. Südwest bietet ebenfalls noch sehr gute Möglichkeiten, die Sonnenenergie zu nutzen.
4. Es wird ebenfalls deutlich, daß das Winteroptimum wegen des niedrigen Sonnenstandes bei großen Neigungswinkeln liegt.

An dieser Stelle wird versucht, auf Grund der Analyse der koreanischen Globalstrahlung nach [11], ein im Abschnitt 2.3.5 in Kapitel 2 bereits erwähntes Neigungswinkeldiagramm, welches in (Süd) Korea spezifisch zur Anwendung kommen kann, zu erstellen. Nachdem die besten Werte in jeder Wetterstation mit 100 Prozent festgesetzt wurden, konnten die entsprechenden prozentualen Abweichungen bei der Ausrichtung nach Osten, Westen, Süden, Südosten, Südwesten und bei 11 verschiedenen Neigungen von 0 bis 90 Grad berechnet werden.

Diese Werten wurden insgesamt als durchschnittliche Werte für Korea gemittelt. Um weitere Werte für verfeinerte Ausrichtungen wie Süd-Ost-Ost, Süd-Süd-Ost, Süd-Süd-

West und Süd-West-West zur Verfügung zu haben, wurden rechnerisch gemittelte Werte verwendet. Als Abschluß wurden die gesamten Werte mit Hilfe des Allplan- Programmes von Nemetschek in ein Koordinatensystem eingetragen und interpoliert (Abb. 4.3).

Für Photovoltaik-Anwendungen in Korea kann dieses Diagramm Architekten und PV- Planern als anschauliche und hilfreiche Information dienen.

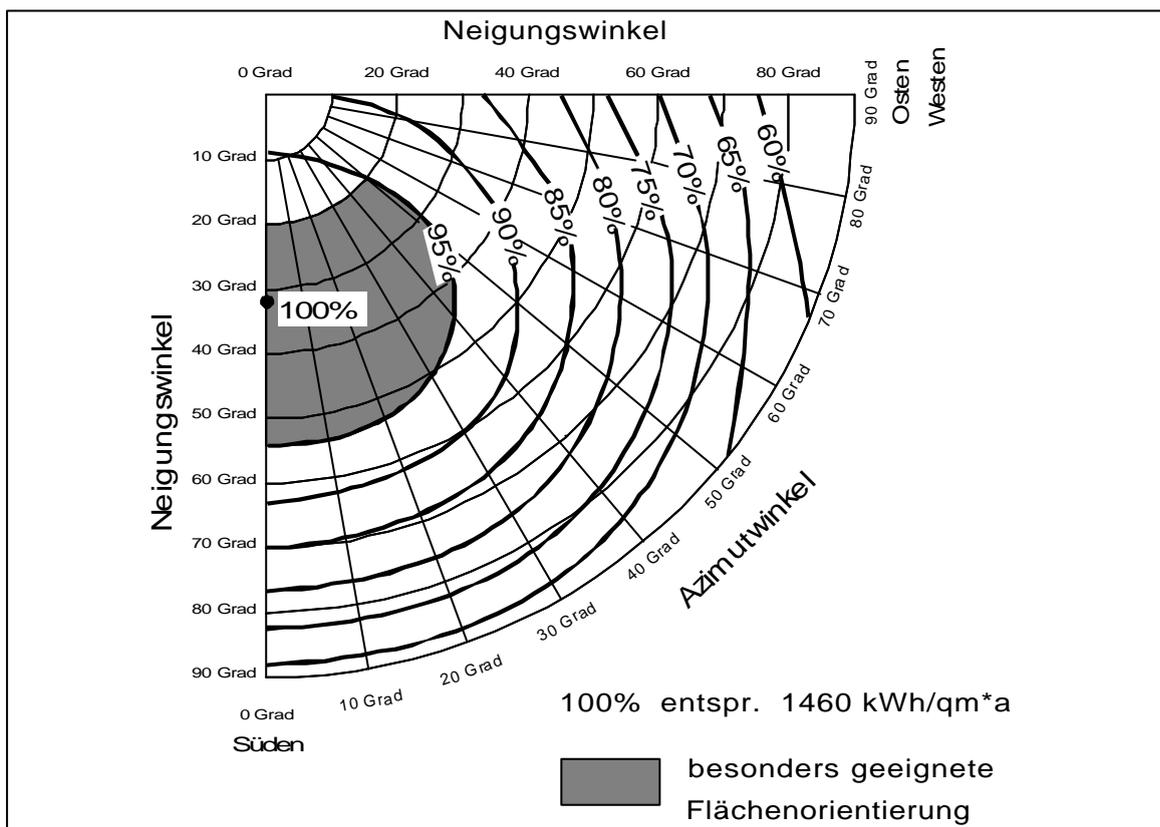


Abb. 4.3: Einfluß des Neigungswinkels der Himmelsrichtung auf die jährliche Sonnenbestrahlung einer Fläche in Korea

Der optimale Neigungswinkel für PV in Südkorea als Ergebnis der Analyse der koreanischen Globalstrahlung erscheint im Vergleich zu Abbildung 2.11 unlogisch, weil die optimale Neigung in Korea aufgrund der geographischen Lage kleiner als in Deutschland sein müßte. Die Erklärung liegt in dem meist sehr klaren Wetter des koreanischen Winters und der teilweisen Abminderung der direkten Sonnenstrahlung während der Regenzeit im Sommer (siehe Tab. 4.3, Tab. 4.6 und Abb. 4.8).

4.4.2 Sonnenscheindauer

Die Sonnenscheindauer in Korea wird in Stunden täglich oder monatlich ermittelt und steht in direktem Zusammenhang mit der Nutzung der Sonnenenergie. Die folgende Tabelle zeigt die tägliche Sonnenscheindauer (S) für 14 koreanische Städte.

Tab. 4.4: Tägliche Sonnenscheindauer in Südkorea, nach [16]

		[Stunden/Tag]											
Ort \ Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahresmittel
Chun-chen	4,9	5,5	6,4	6,6	7,4	6,8	4,9	5,2	5,7	6,0	4,8	4,7	5,7
Kang-nung	6,2	6,5	6,4	7,0	7,9	6,2	4,8	5,3	5,4	6,2	5,8	6,0	6,1
Seoul	5,2	6,0	6,4	6,6	7,4	6,1	3,9	4,9	5,9	6,7	5,0	4,6	5,7
Su-won	5,7	5,7	7,1	7,3	8,1	7,4	5,4	5,9	6,7	6,8	5,5	5,2	6,4
So-san	5,0	5,6	7,1	7,2	7,7	6,5	4,7	5,9	6,5	6,8	5,2	4,6	6,1
Chong-ju	5,0	5,5	6,4	6,9	7,7	6,5	5,2	5,8	5,9	6,3	4,7	4,7	5,9
Chu-pong	5,6	5,6	6,8	6,0	8,0	6,6	5,2	5,9	5,8	6,9	5,6	5,5	6,2
Po-hang	5,9	6,0	6,3	6,3	7,0	5,6	4,9	6,0	5,1	6,0	5,8	6,0	5,9
Dae-gu	6,2	6,5	7,0	7,1	7,8	6,6	5,5	6,2	5,7	6,9	6,1	6,1	6,5
Chon-ju	4,8	5,4	6,4	6,7	7,5	6,4	4,8	6,3	6,1	6,5	5,3	4,7	5,9
Kawang-ju	5,2	6,0	6,7	6,9	7,4	6,4	5,5	6,8	6,2	7,3	5,7	5,1	6,3
Bu-san	6,2	6,2	6,4	6,2	6,9	5,8	4,9	6,6	5,5	6,6	6,1	6,3	6,1
Mok-po	4,1	5,0	6,1	6,2	6,8	5,8	4,9	6,8	6,1	6,7	5,2	4,3	5,7
Jin-ju	5,6	6,0	7,2	7,2	7,5	6,1	5,7	6,5	5,8	6,7	6,1	6,0	5,9
Monatsmittel	5,4	5,9	6,6	6,7	7,5	6,3	5,0	6,6	5,9	6,6	5,5	5,3	6,1

Nach Tabelle 4.4 ist festzustellen, daß die tägliche Sonnenscheindauer in Korea durchschnittlich 6.1 Stunden (2.227 h/a) beträgt, und die Schwankung über das Jahr nicht sehr groß ist.

4.4.3 Sonnenstand

Bedingt durch die Rotation der Erde um die eigene Achse und um die Sonne ergibt sich für jeden Ort auf der Erde ein von Tageszeit und Jahreszeit abhängiger Sonnenstand. Dieser Sonnenstand wird definiert durch zwei Winkel: Azimut (a) und Höhe (γ) über dem Horizont.

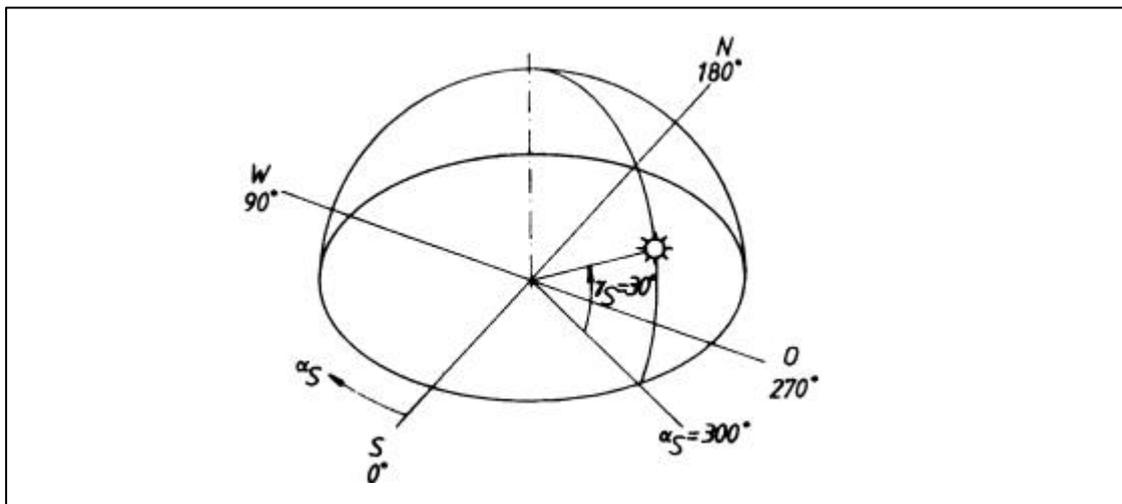


Abb. 4.4: Die Definition von Sonnenazimut und Sonnenhöhe [88]

Die Definition der Begriffe "Azimut" und "Sonnenhöhen (winkel)" kann folgendermaßen erläutert werden: Die Ausrichtung von Solaranlagen in Südrichtung entspricht einem Azimutwinkel (a) von 0° . Der Azimutwinkel wird nach Osten negativ und nach Westen positiv gegeben. Die Sonnenhöhe beträgt am Horizont 0° .

Mit Hilfe des Sonnenstandsdiagramms, wie in Abbildung 4.5, erkennt man lokale Sonnenazimutwinkel und -höhe zu bestimmten Jahres- und Tageszeiten. Aus Abbildung 4.5 ist festzustellen, daß Seoul im Winter (22. Dezember) eine Sonnenhöhe von 29° und im Sommer (22. Juni) von 76° über dem Horizont beträgt. Die Strahlungsstärke im Sommer ist bei sehr hohem Sonnenstand auf horizontaler Ebene stärker als auf geneigte Ebene. Die sommerliche Globalstrahlung liegt in Seoul über dem Durchschnitt (s. Tab. 4.2).

In der Winterzeit wird die geneigte Ebene, so wie etwa eine Fassadenfläche, durch die niedrig stehende Sonne mehr direkte Sonnenstrahlung erhalten.

4.4.4 Temperatur und Niederschlag

Um eine Aussage über Klimadaten von Korea zu machen, sind für die nähere Betrachtung die folgenden, in verschiedenen Tabellen dargestellten Informationen, notwendig: Lufttemperatur, Niederschlagsmenge, Luftfeuchtigkeit und Windverhältnis. Südkorea liegt im Übergangsbereich zwischen kontinentaler und maritimer Einflußsphäre und weist ein kühlgemäßigtes Klima auf. Eine Ausnahme bildet der äußerste Süden, der an die subtropische Klimazone reicht.

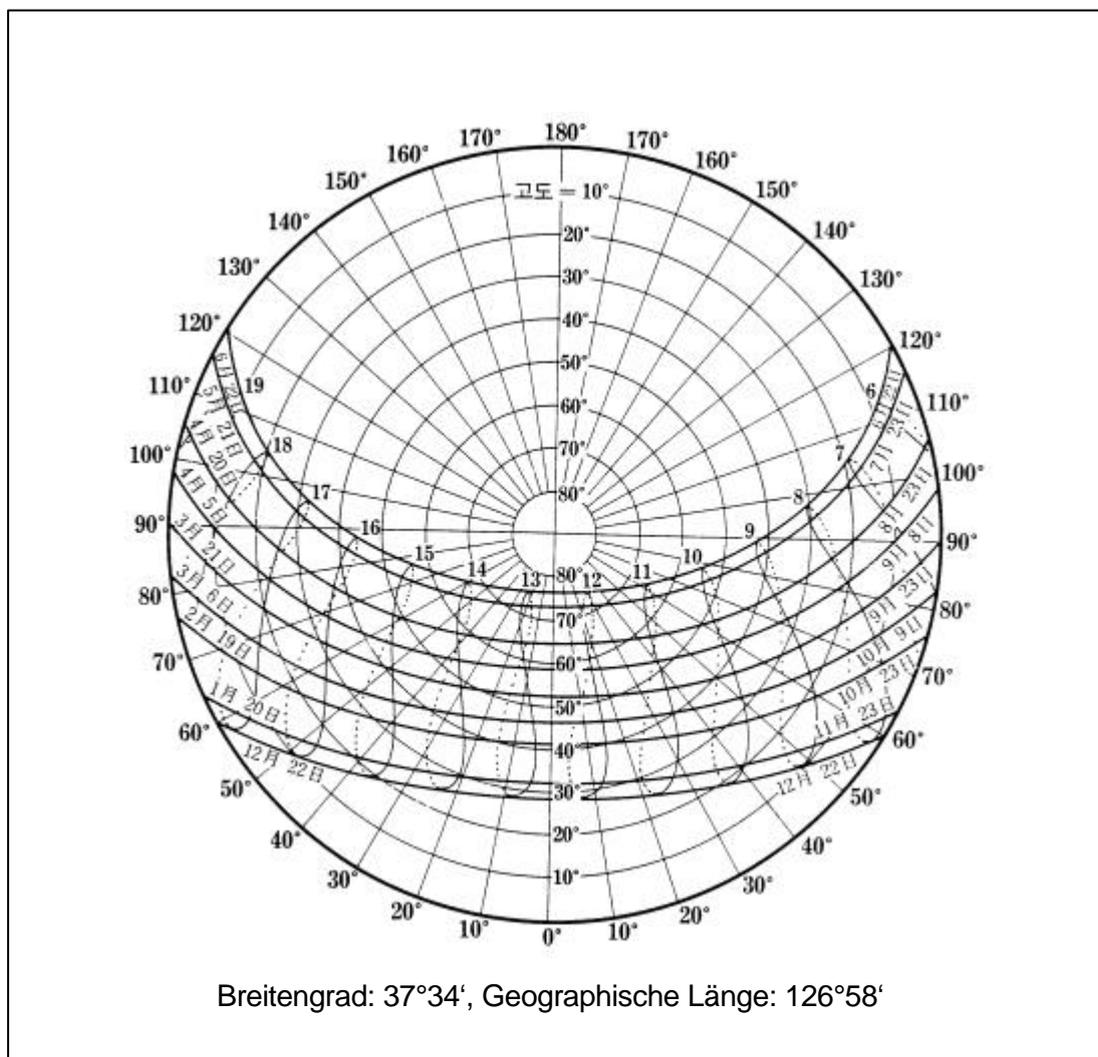


Abb. 4.5: Sonnenstandsdiagramm von Seoul in Korea [89]

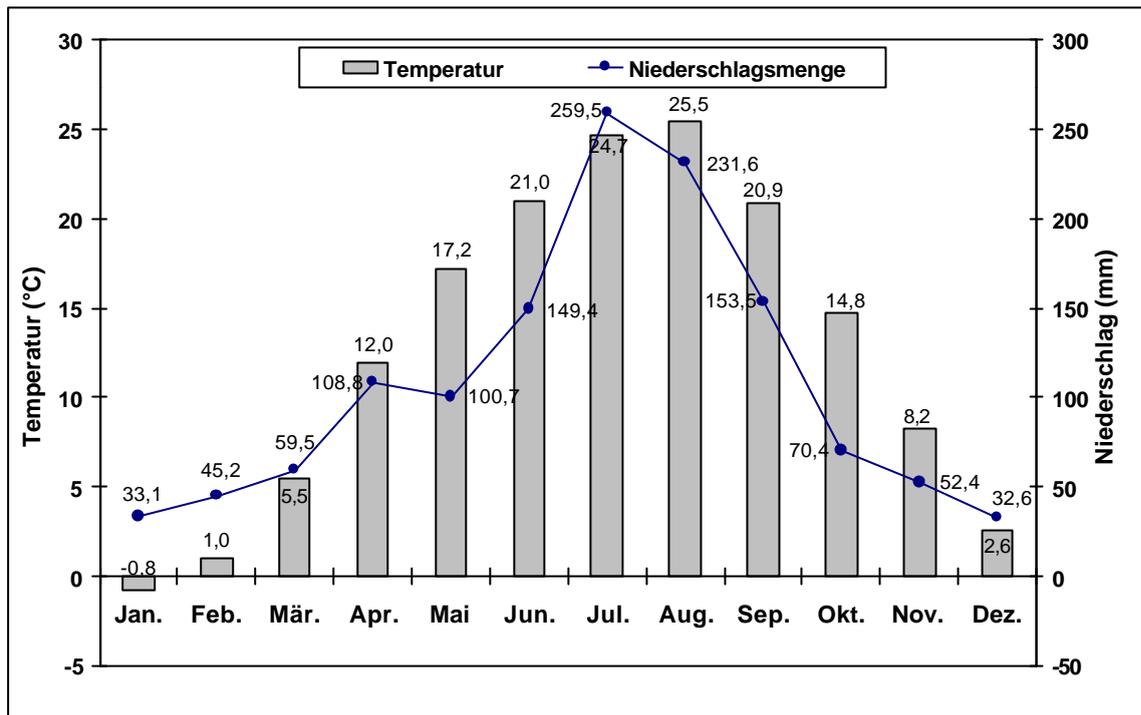


Abb. 4.6: Mittlere Jahrestemperaturen und Niederschläge von Südkorea, nach [16]

Die mittlere Jahrestemperatur beträgt ca. 13° C, die kältesten Monate sind Januar und Februar. Die monatliche Durchschnittstemperaturen liegen hier je nach Standort zwischen -5°C und 5°C, im August steigen sie auf 26° C, vereinzelt bis auf 30° C. Die Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter nehmen von Süden nach Norden zu.

Die größten Niederschläge fallen unter dem Einfluß des Sommermonsuns in der Zeit von Juni bis August. Die Niederschlagsmengen belaufen sich auf etwa 1000 mm bis 1300 mm pro Jahr (s. Abb. 4.6). In regionaler Verteilung zeigen die Jahressummen der Niederschläge keine besonders großen Unterschiede. Die relative Luftfeuchtigkeit im Sommer liegt über 75% im Binnenland und über 80% an der Küste.

Die folgende Tabelle zeigt die Charakteristika des koreanischen Sommer- und Winterklimas:

Tab. 4.5: Charakteristika des koreanischen Sommer- und Winterklima

	Sommer (Juli, August)	Winter (Januar, Feb.)
Mittlere Temperatur	23 bis 26°C	-5 bis 5°C
Rel. Luftfeuchtigkeit	75 bis 85%	50 bis 75%
	Subtropisches Klima	Kontinentalklima

4.4.5 Windverhältnisse

Dem Wind kommt eine wichtige Bedeutung bei der natürlichen Durchlüftung von Gebäuden zu und er kann als wichtigste Quelle zur Kühlung von PV-Anlagen während des warmen Sommers angesehen werden. Dies muß bei der Ausrichtung eines Gebäudes, das als Fundament für eine PV-Anlage dient, besonders berücksichtigt werden, da sich die Windverhältnisse an jedem Ort, in Abhängigkeit von der topographischer und meteorologischen Lage ändern.

Die Abbildung 4.7 zeigt die vorherrschenden Windrichtungen mit ihren Windgeschwindigkeiten. Erkennbar kommt der Wind im Sommer aus Süden (vom Ozean) und im Winter aus Norden oder Nordwesten (vom Kontinent). Der Wintermonsun ist stärker und beständiger als der Sommermonsun.

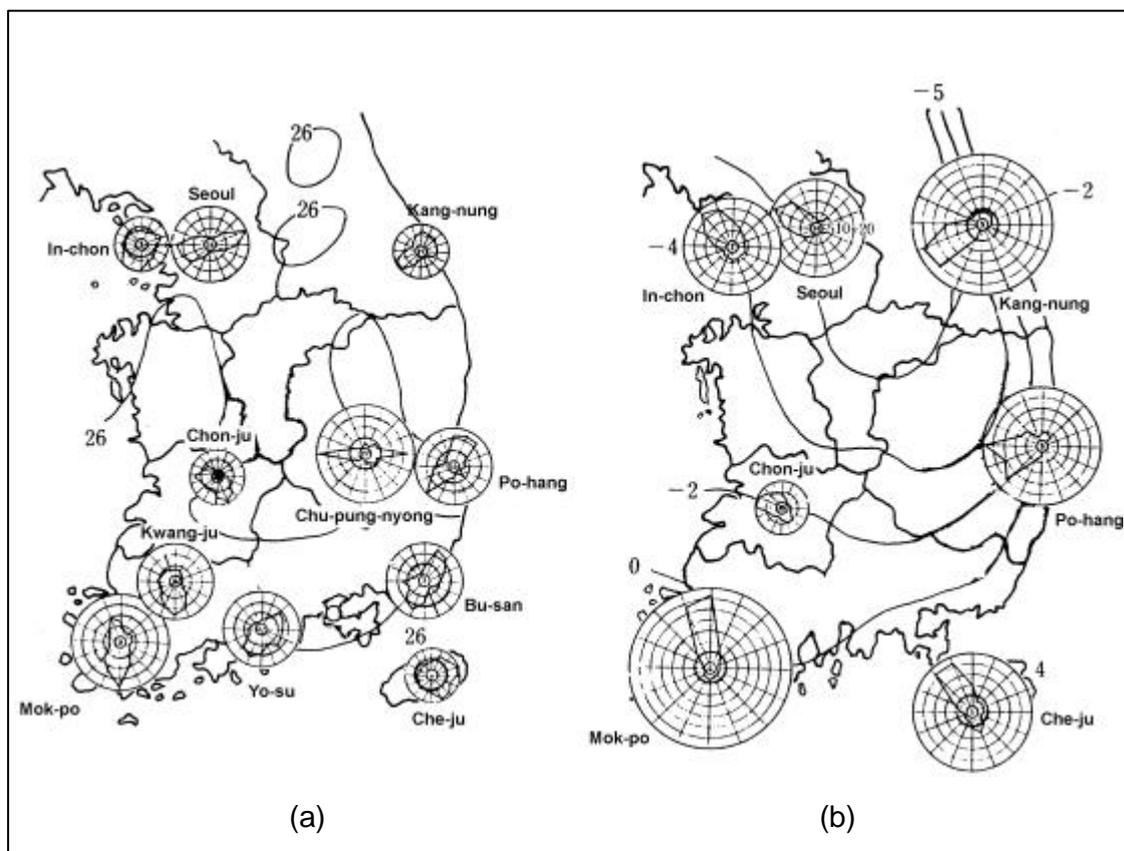


Abb. 4.7: Windverhältnisse in Südkorea im Sommer (a) und Winter (b) [89]

4.5 Vergleichsanalyse der Klimadaten

Die Untersuchung stellt sich zur Aufgabe für Südkorea im Vergleich zu Deutschland und Europa, die gesamte Situation des Klimas zu erörtern, um entsprechend mit der PV-Anwendung reagieren zu können. Deutschland gehört, wie Korea, zur gemäßigten Klimazone, die durch kontinentale und ozeanische Einflüsse gekennzeichnet ist. Die Daten für Deutschland stammen aus einem Bericht der Kommission der Europäischen Gemeinschaft und aus den "Duisburger geographischen Arbeiten", Band 10.

4.5.1 Globalstrahlung

Die mittlere Globalstrahlung von 16 deutschen Städten auf horizontale Fläche beträgt nach Palz [80] täglich 2,88 Kwh/m² (1,051 Kwh/m² a).

In der Tabelle 4.5 ist die tägliche Globalstrahlung von mehreren Ländern in kWh/m² aufgeführt.

Es wird festgestellt, daß die Globalstrahlung für Korea mehr als 20% höher liegt als für mitteleuropäische Länder. Die Werte sind in Ostasien je nach Jahreszeit etwas unterschiedlich, jedoch ohne große Schwankungen zwischen Sommer und Winter. Daher kann bei Einsatz von PV-Anlagen von einer relativ stabilen Stromernte über das Jahr ausgegangen werden.

Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, daß in höheren Breitengraden die Schwankungsbreite der Globalstrahlung zwischen Sommer und Winter größer ist, als bei niedrigen Breitengraden.

- *Ostasien: relativ kleine Schwankung zwischen Sommer und Winter*
- *Mitteleuropa: große Schwankung zwischen Sommer und Winter*

So liegt beispielsweise die winterliche Sonnenhöhe in Seoul (B 37°34' N) bei 29° über dem Horizont, gegenüber 16° für Essen (B. 51°24' N). Bei der niedrigeren Sonnenhöhe ist zudem die Strahlungsstärke insgesamt schwächer.

Tab. 4.6: Vergleich der Globalstrahlung für mehrere Länder in kWh/m².Tag

	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Durchschnitt	
Südkorea	4,48	4,41	3,14	2,35	3,6	A=100%
(A)	124%	123%	87%	65%	100%	
Mittel-Japan	4,49	4,67	3	2,23	3,55	B/A=99%
(B)	121%	132%	84%	63%	100%	
BRD	3,69	4,88	1,68	0,94	2,88	C/A=80%
(C)	128%	169%	58%	33%	100%	
Schweiz	4,09	5,46	2,3	1,15	3,25	D/A=90%
(D) Zürich	126%	168%	71%	35%	100%	
Belgien	3,71	4,65	1,88	0,82	2,77	E/A=77%
(E) Brüssel	134%	168%	68%	30%	100%	
Schweden	3,78	5,46	1,5	0,48	2,81	F/A=78%
(F) Stockholm	135%	195%	53%	17%	100	
Österreich	3,92	5,15	2,3	1,27	3,16	G/A=88%
(G) Graz	124%	163%	73%	40%	100%	

4.5.2 Vergleich der Sonnenscheindauer

In Abbildung 4.8 wird die Sonnenscheindauer von vier Ländern im Vergleich dargestellt. Die jährliche Sonnenscheindauer in Korea beträgt über 2000 Stunden, gegenüber 1600 Stunden in Deutschland.

In Abbildung 4.8 deutlich zu sehen, daß der Jahresverlauf für Korea relativ kleine Schwankungen aufweist, während es in Europa extrem große Unterschiede - im Sommer sehr lang und im Winter sehr kurz - gibt. Die Sonnenscheindauer wirkt sich unmittelbar auf die örtliche Globalstrahlung aus (s. Abschnitt 4.4.1).

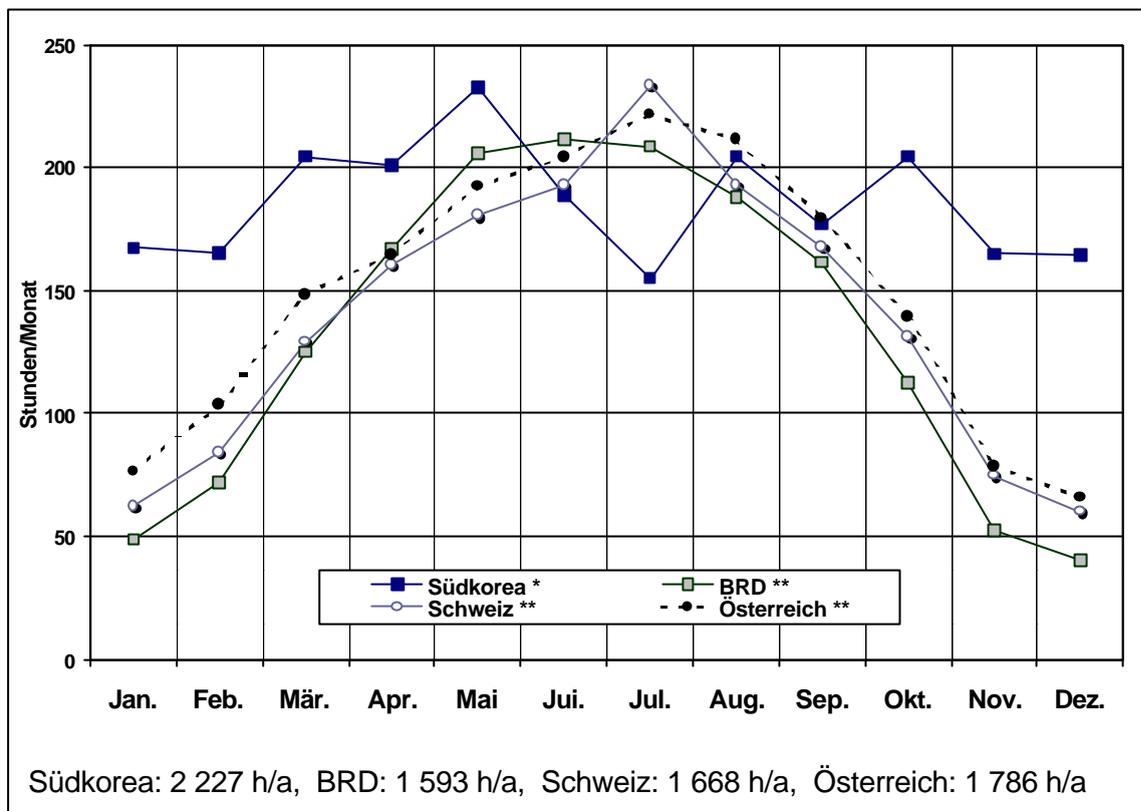


Abb. 4.8: Sonnenscheindauer in vier Ländern, nach * [16] und ** [90]

4.5.3 Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Hier werden die monatlichen mittleren Werte von Korea und Deutschland direkt gegenübergestellt. Dabei wird der Einfluß der Lufttemperatur im Zusammenhang mit der Luftfeuchtigkeit betrachtet. Das winterliche Temperaturverhältnis von beiden Ländern ist ähnlich, während die Sommertemperatur in Korea deutlich höher aussteigt. Die relative Luftfeuchtigkeit ist in Mitteleuropa im Sommer niedriger als im Winter (s. Abb. 4.9). Im Gegensatz dazu ist sie im Sommer in Korea mit über 80% relativer Luftfeuchtigkeit sehr hoch und bedingt dadurch herrschen, wie in den heißfeuchten Äquatorzonen, ausgesprochen schwüle Wetterlagen. Zum Ausgleich dieser unangenehmen Klimabedingungen im Sommer werden Klimaanlage eingesetzt.

Sie verursachen den Spitzenverbrauch an Strom im Jahr, weshalb die Stromversorgung in Korea in den Sommermonaten bisher relativ unsicher war. Zur Beseitigung dieser Schwierigkeiten könnten an Gebäuden integrierte PV-Anlagen in Korea eine wichtige Rolle spielen.

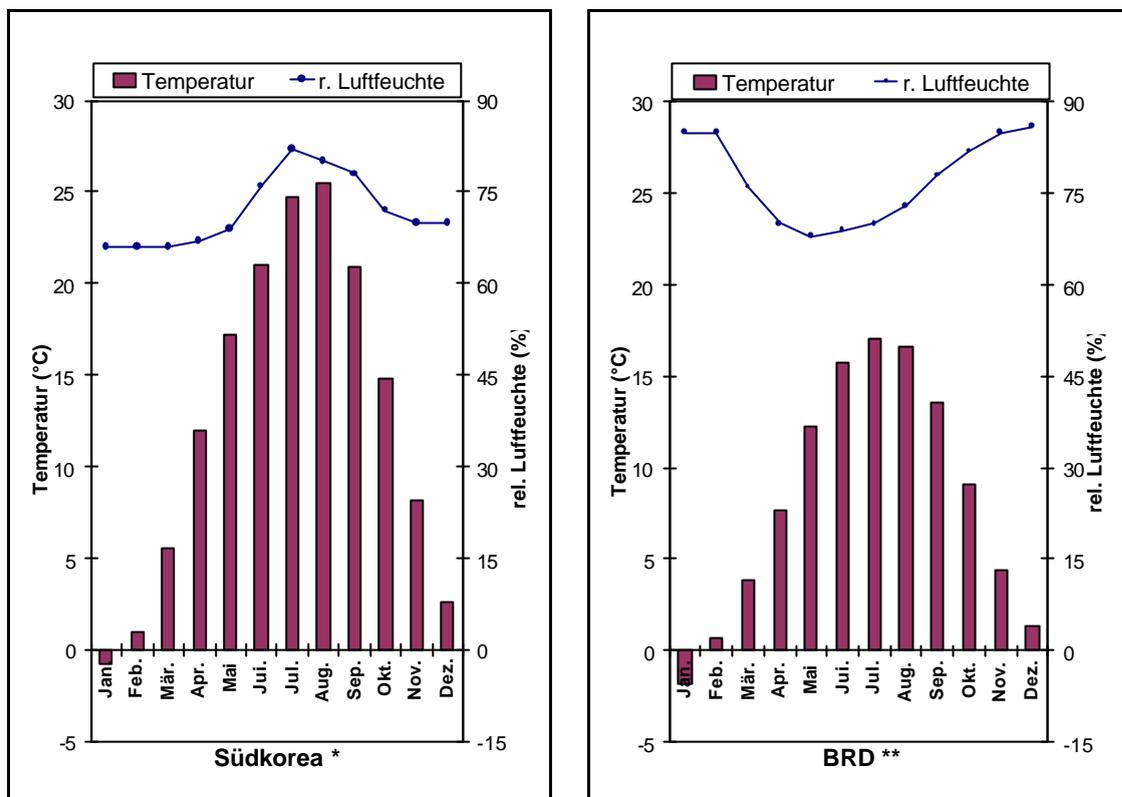


Abb. 4.9: Verhältnis zwischen Temperatur und Feuchte, nach * [16] und ** [91]

Niederschläge wirken in Verbindung mit anderen klimatischen Faktoren, hauptsächlich mit dem Wind und der Sonneneinstrahlung. Die Niederschlagsmenge übt auf die Stromernte der PV-Anlagen folgende Einflüsse aus:

- geneigte PV-Flächen können durch Niederschlag automatisch gereinigt und damit der Wirkungsgrad der Solarmodule stabilisiert werden.
- sommerliche Gewitter führen über Verdunstungskälte zur Temperaturabsenkung erhitzter Module.

In Tabelle 4.7 wird die Niederschlagsmenge von Südkorea und Deutschland dargestellt. Die Niederschlagsmenge wird in monatlichen Werten in mm angegeben.

Tab. 4.7: Niederschlagsmenge von Südkorea und Deutschland in mm [16][91]

	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Jun.	Juli.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Südkorea	33	45	60	109	101	149	260	232	154	70	52	33	1298
BRD	60	51	50	55	68	87	85	86	64	59	69	71	806

In Südkorea fallen große Niederschlagsmengen von Juni bis August. Auf die drei Sommermonate entfällt die Hälfte der jährlichen Niederschlagsmenge von 1298 mm, während in Deutschland die gesamte Niederschlagsmenge gleichmäßig über das Jahr verteilt anfällt. Die Niederschlagsmenge in Korea ist durchschnittlich ca. 1.6-fach höher als in Deutschland, im Sommer sogar ca. 2.5-fach mehr.

4.6 Charakteristische Bautypen in Korea

In den traditionellen Bautypen in aller Welt haben sich energieeffiziente Gebäudeformen entwickelt, die auf die klimatischen Bedingungen ihrer spezifischen Umwelt abgestimmt sind.

Auch die typischen Bauformen in Korea wurden von alters her unter Berücksichtigung des Klimas und der topographischen Gegebenheit entwickelt.

Für die Ausrichtung der Häuser in Korea wird traditionell eine Himmelsrichtung zwischen Südost und Südwest bevorzugt, um so im Winter eine optimale Besonnung, und im Sommer vergleichsweise geringe Raumaufheizung wegen des hohen Sonnenstands zu erhalten. Unter den koreanischen Klimabedingungen müssen die Häuser großen Temperaturschwankungen gewachsen sein, und die Baumaterialien sollen extreme Kälte sowie extreme Hitze abschirmen können.

Aus der Betrachtung der traditionellen Bauweise in Korea können folgende Bedingungen, die den klimatischen Eigenheiten Rechnung tragen, festgestellt werden:

- 1) Das traditionelle eingeschossige Wohnhaus hat eine mittlere Dachneigung von 20° [11]. In der Monsunzeit muß verbessertes Abfließen des Regenwassers einwandfrei gewährleistet sein.
- 2) Als bauliche Maßnahme gegen Hitze und Feuchtigkeit im Sommer befindet sich in der Mitte des Hauses ein vom Boden ca. 60 cm aufgeständertes Holzzimmer "Maru", das auf der Vorderseite des Hauses eine große Öffnung und auf der Hinterseite eine kleine Öffnung hat. Damit ist es möglich, im Sommer unter Ausnutzung des Windes quer zu lüften. Diese Bauweise zeichnet sich außerdem durch hohe Flexibilität aus.
- 3) Gegen die starke Sonnenstrahlung oder auch den starken Regen im Sommer wird das Dach um das Haus auskragend gebaut.

- 4) Die Beheizung erfolgt überwiegend durch eine Fußbodenheizung, die in Korea "Ondol" genannt wird.
- 5) Die Nordwand und Westwand sind entweder vollkommen geschlossen oder haben nur kleine Öffnungen, um im Winter den kalten Wind von Norden abzuschirmen.
- 6) Bei der Grundrißgestaltung sind Wohnräume möglichst nicht auf der Westseite untergebracht, da im Sommer die Sonne nachmittags dort zu starker Aufheizung führt

Bei der Errichtung von Gebäuden neueren Typs ist ein Wandel im gesellschaftlichen Zusammenleben deutlich erkennbar. Nach der Industrialisierung sind in Korea Geschosßbauten üblich geworden, da die Bebauungsflächen durch die Bevölkerungszunahme und den Schritt von der Groß- zur Kleinfamilie erheblich knapper geworden sind.

5 Beispiele für die gestalterische und konstruktive Integration von Photovoltaik

5.1 Begriff

In der Anfangsphase war die Anwendung von Photovoltaik an Gebäuden sehr einseitig auf funktionale Aspekte ausgerichtet. Das Ziel heute ist, PV-Module als integrierbare Bauelemente für die architektonische Gestaltung zu entwickeln. Dabei geht es um eine harmonische Einbindung der PV-Module in die Architektur.

Die Aufgabe der Integration stellt sich sowohl im Bestand, als auch bei neu zu errichtenden Gebäuden. Wie in Kapitel 2 erläutert wurde, werden PV-Module als Bestandteil der Gebäudehülle eingesetzt und haben neben ihrer Funktion als konventionelles Bauteil die Aufgabe der Stromerzeugung.

Die Anordnungen der PV-Module unterscheidet sich durch ihre Einbauposition bzw. ihre bauliche Funktion in drei Grundtypen (vgl. Tab. 5.1, S. 76).

- mit Abstand vom Baukörper hinterlüftet
- ohne Abstand vom Baukörper
- als selbständiges Bauteil im Baukörper integriert,
z.B. als Fensterverglasung oder Dachverglasung

In den folgenden Beispielen werden die Anforderungen an PV- Bauelemente nach ihren unterschiedlichen baulichen Aspekten differenziert und den in Tabelle 5.1 beschriebenen, drei Anordnungsprinzipien zugeordnet.

Nach den vorangegangenen konstruktiven Überlegungen werden Gebäude mit PV-Integration zur gestalterischen Optimierung visualisiert. Die in den Gebäuden installierten PV-Module prägen als optische Elemente das Aussehen eines Gebäudes entscheidend. Die Materialeigenschaften, Strukturen und Farben sind dabei wichtige Faktoren der architektonischen Gestaltung.

Um die Akzeptanz der PV-Integration in Gebäuden zu fördern, ist es wichtig, gestalterisch und konstruktiv qualitätvolle Beispiele zu zeigen. Mit der Unterstützung von Computerprogrammen ist es möglich, fotorealistische dreidimensionale Visualisierungen der Gebäude mit PV-Modulen durchzuführen. So kann sichtbar gemacht werden, wie die durch verschiedene Solarzellentypen erzeugten Farben der PV-Module im Zusammenspiel mit anderen Baumaterialien wirken, und welche Einflüsse deren Farben und

Strukturen auf die Ästhetik der Architektur ausüben. Die fotorealistische Darstellung gewinnt zunehmend an Bedeutung für Architekten, Bauherren und Investoren.

Um die verschattungsfreien Teile der Gebäudehülle durch eine Verschattungsstudie zu ermitteln, stand an der Universität Dortmund das CAD-Programm "Allplan" zur Verfügung. Es ermöglicht, in Abhängigkeit von Jahreszeit, Tag und Stunde die Verschattung von Gebäudeflächen darzustellen.

Für die Realisierung dieses Arbeitsschrittes werden innerhalb dieses Kapitels die konstruktionsdaten von 3 bestehenden, bzw. geplanten koreanischen Gebäuden verwendet.

Tab. 5.1: Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten von PV nach 3 Anordnungsprinzipien

Typ	1	2	3
Skizze			
Merkmale	-besserer Wirkungsgrad durch Hinterlüftung / Kühlung der PV -besseres bauphysikalisches Verhalten	-Verbundsystem mit dem Baukörper -keine Hinterlüftung	-ein individuelles Bauelement -mögliche Lichtdurchlässigkeit
Anwendungsmöglichkeit	-Brüstungselemente -Fassadenbekleidung -Dachdeckung -Sonnenschutzelemente -Vordach	-Brüstungselemente als Paneel -Fassadenbekleidung	-Fensterscheibe -Vorhangfassade -Dachverglasung -Verschattungselemente

5.2 Umsetzung an einem bestehenden Bürogebäude

5.2.1 Gebäudebeschreibung

- Lage

Das untersuchte Gebäude befindet sich in einem Anfang der 90-er Jahre geplanten Stadtteil von Ansan 50 km südwestlich von Seoul. Ein Nachbargebäude mit ähnlicher Höhe steht genau südlich gegenüber diesem Gebäude. Dazwischen verläuft eine 8 m breite Straße. Die 35 m breite Nord- und die 10 m breite Oststraße grenzen an eine Hauptverkehrsstraße (s. Abb. 5.1). Durch die Restbebauung der Umgebungsgrundstücke entsteht städtebaulich ein typischer Innenstadtcharakter. Aufgrund der Verschattung durch die Nachbargebäude ist die PV-Anwendung hier erheblich eingeschränkt.

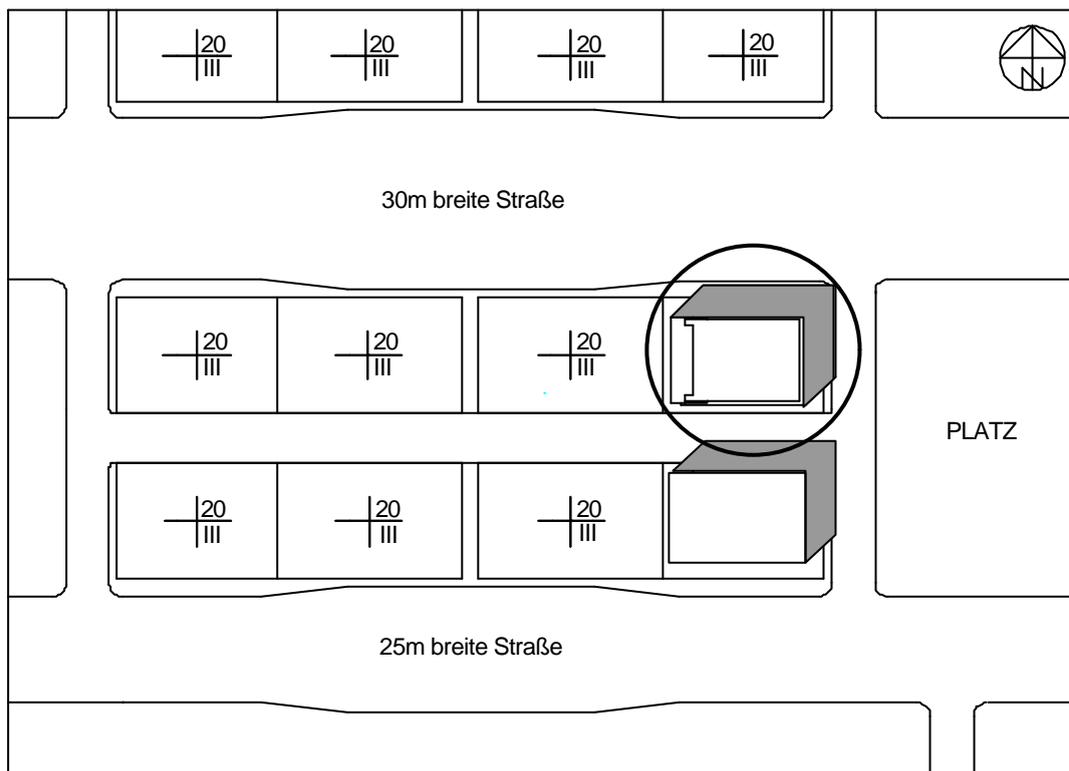


Abb. 5.1: Lageplan

- Baukörper

Das in den Jahren 1994 bis 1995 erbaute Bürogebäude umfaßt 3 Untergeschosse zum Parken, das Erdgeschoß und 4 Vollgeschosse. Die äußere Form des Gebäudes zeigt einen Kubus, dessen Außenhülle mit einer hinterlüfteten Granitverkleidung versehen ist. In Teilbereichen wurde die Fassade auch nicht hinterlüftet ausgeführt.

Die Fassaden sind als Lochfassade und Pfosten-Riegel-Konstruktion aufgebaut. Die Ostfassade enthält zusätzlich im Mittelbereich ein Structural-Glazing-System (s. Abb. 5.2). Der Treppenhausbereich ist an der Stirnseite des Gebäudes in Westrichtung angelagert. Das Erdgeschoß wird von einer Postfiliale und Läden genutzt. In den anderen Geschossen finden sich hauptsächlich Büroräume. Die derzeit in die Fassade eingesetzten dunkel gefärbten Gläser dienen als Sonnenschutz. Dies schränkt die Tageslichtnutzung stark ein.



Abb. 5.2: Nord-Ost Ansicht des Bestandsgebäudes (Foto: Verfasser)

5.2.2 Realisierung

- Verschattungsstudien

Im Sinne einer situationsgerechten Planung, wie sie für die PV-Integration zwingend notwendig ist, wurden im Vorfeld der Planung Verschattungsstudien erstellt.

Die Verschattungsstudie zeigt in der Computersimulation, daß auf der Südfassade die zwei oberen Geschosse, und der Ostbereich des Flachdaches während des ganzen Jahres unverschattet bleiben (Abb. 5.3).



Abb. 5.3-1: Verschattungsstudie 10 Uhr, am 21. Dezember von Südosten

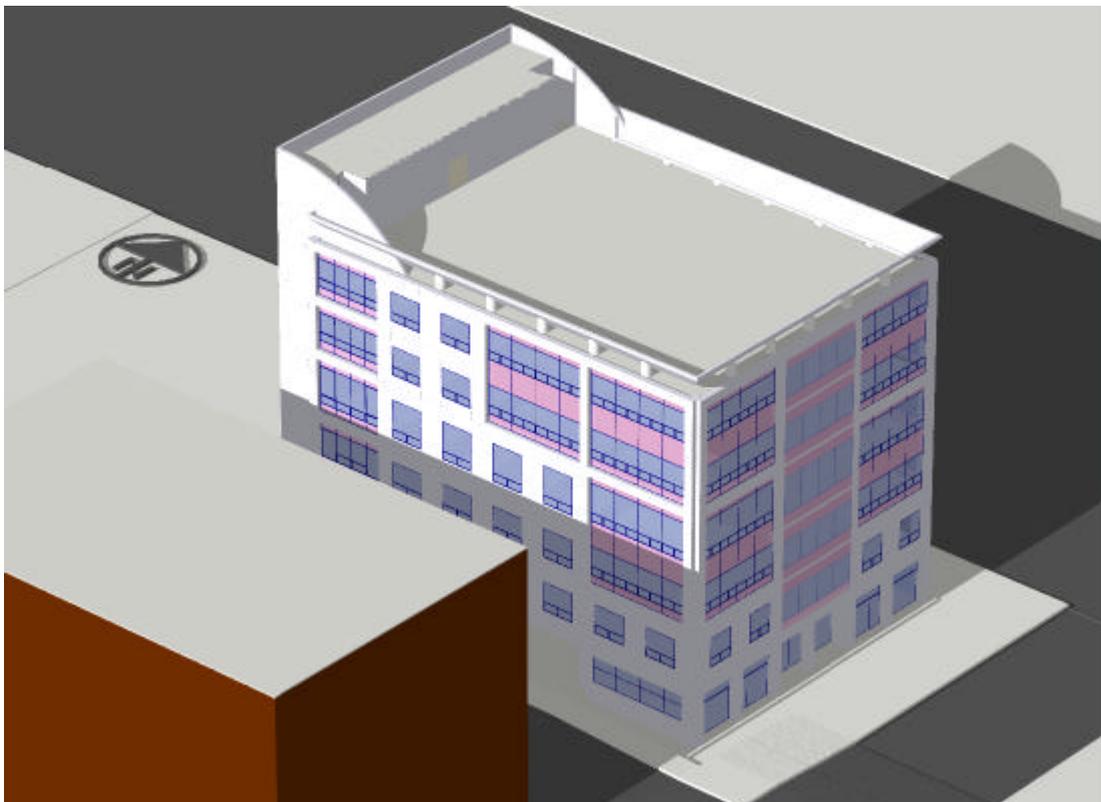


Abb. 5.3-2: Verschattungsstudie 12 Uhr, am 21. Dezember von Südosten

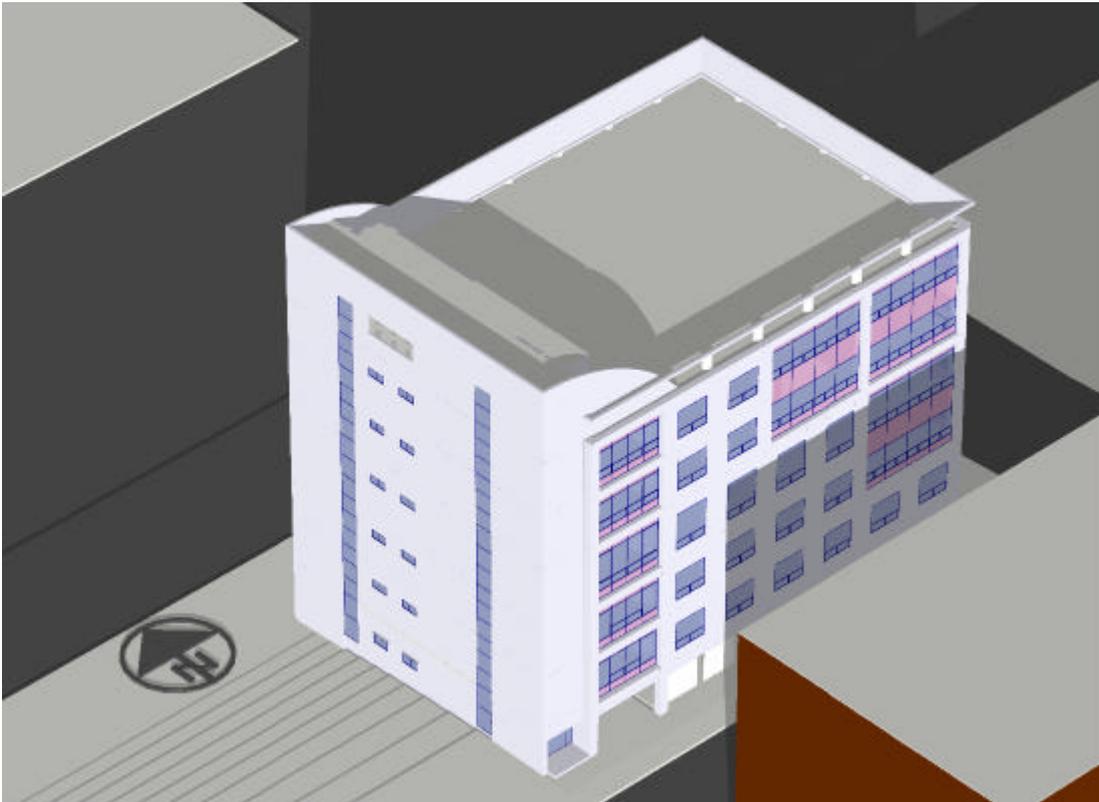


Abb. 5.3-3: Verschattungsstudie 15 Uhr, am 21. Dezember von Südwesten

Neben diesen Bereichen stehen die, durch den davor liegenden Platz von der Verschattung relativ frei gehaltene Ostfassade, sowie der Brüstungsbereich des Daches in der Westfassade für die PV-Integration zur Verfügung, wobei der Wirkungsgrad der PV in diesen Orientierungen etwas niedriger ausfällt. Basis der Realisierung ist der Abschnitt 2.2.4 „Fassadenintegration“ in Kapitel 2, und die in Tabelle 5.1 dargestellten Prinzipien der Anordnung von PV-Modulen.

5.2.2.1 Variante 1 – Module, vor der Fassade (Typ 1 nach Tabelle 5.1)

Die mangelhafte konstruktive und energetische Ausführung dieses Gebäudes, besonders unter Ansatz der Kriterien der deutschen Wärmeschutzverordnung, läßt eine Sanierung notwendig erscheinen (s. Abb. 5.4, 5.5 und andere Details), wobei eine PV-Integration unter dem Aspekt der Energieeinsparung als sinnvoll erachtet wird.

Zunächst wird eine PV-Integration ohne großen Aufwand unter Erhalt des bisherigen Gebäudecharakters vorgestellt.

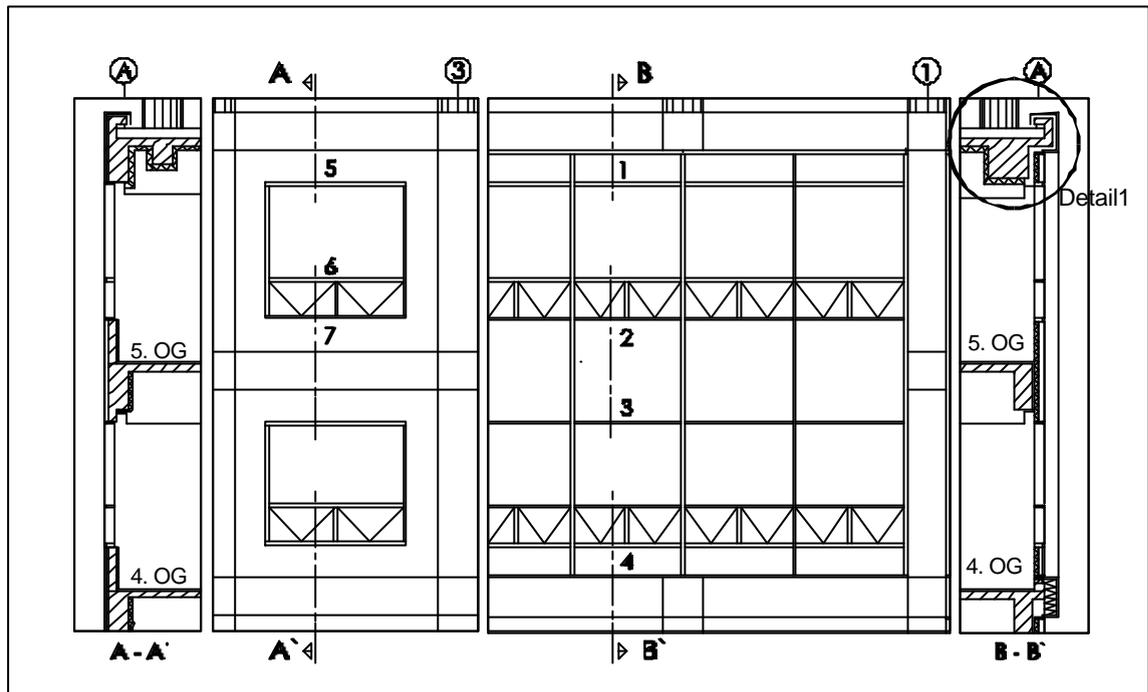


Abb.5.4: Teilansicht und –schnitt der Südfassade, Bestand

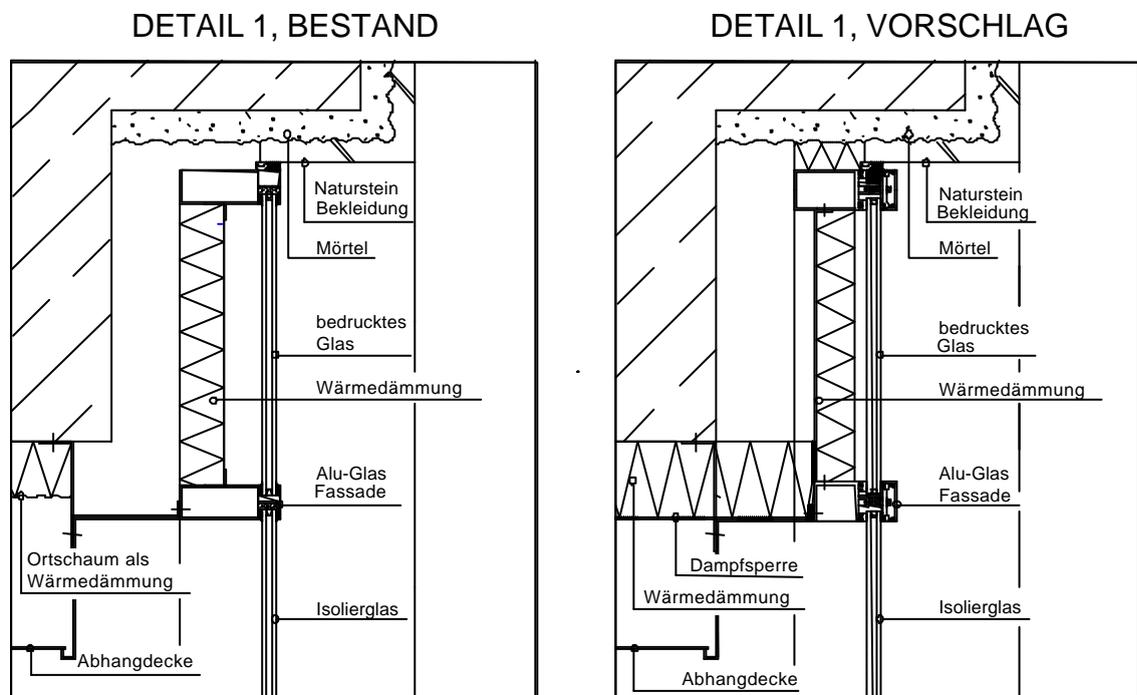


Abb. 5.5: Bestand und verbesserter Vorschlag von Detail 1
(Schnittführung s. Abb. 5.4)

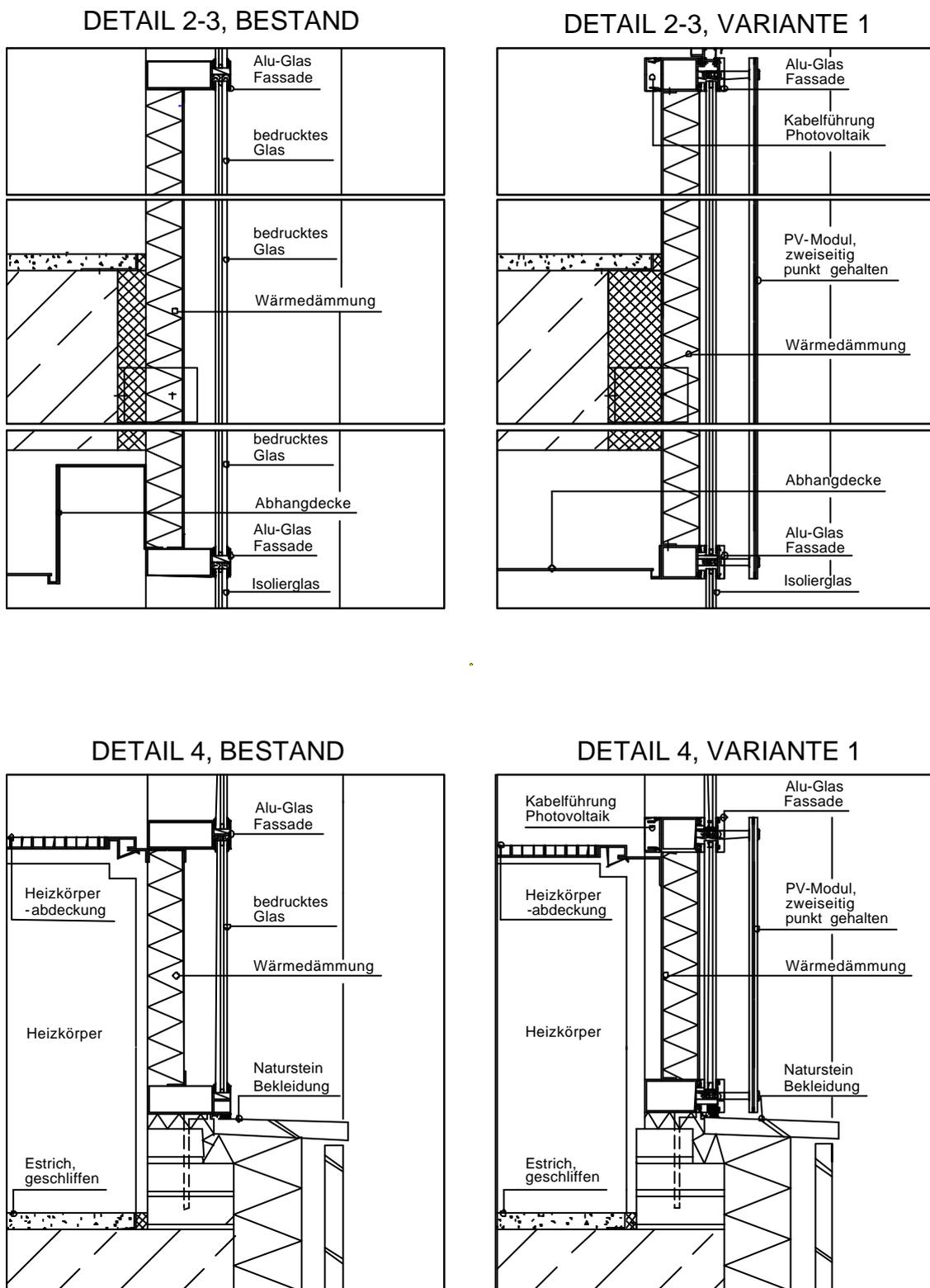


Abb.5.6: Bestand und Photovoltaik-Integration, Detail 2-3 und 4, Variante 1
(Schnittführung s. Abb. 5.4)

- Umsetzung

Ein Abstand von ca. 6 cm zur Hinterlüftung trennt die PV-Module von der bestehenden Fassade. Die Module werden punktweise befestigt (Abb. 5.6). Diese Variante wird überwiegend in den Brüstungsbereichen ausgeführt (Detail 2-3 und 4 in Abb. 5.4), und beeinträchtigt weder das Erscheinungsbild des Gebäudes, noch den Ausblick der Gebäudenutzer (Abb. 5.7).

Trotz des konstruktiven Mehraufwands für die zusätzlichen Elemente ermöglicht diese Integration eine leichte Montage, die leichte Austauschbarkeit und die gute Hinterlüftung der PV-Module. Die Größe der rahmenlosen PV-Module, die direkt auf die Pfosten-Riegel-Konstruktion verschraubt werden, entspricht dem Rastermodul der konventionellen Brüstungselemente.

Die für diese Variante simulierten Abbildungen 5.8-1 und 5.8-2 zeigen zum einen, die durch die Farbe der polykristallinen Solarzellen bedingte dunkelblaue Modulfarbe, zum anderen die braune Modulfarbe der amorphen Solarzelle (Abb. 5.8-1, 5.8-2). Auf diesen Abbildungen ist gut zu erkennen, daß der optische Eindruck des Gebäudes durch die Modulfarbe stark beeinflusst wird.

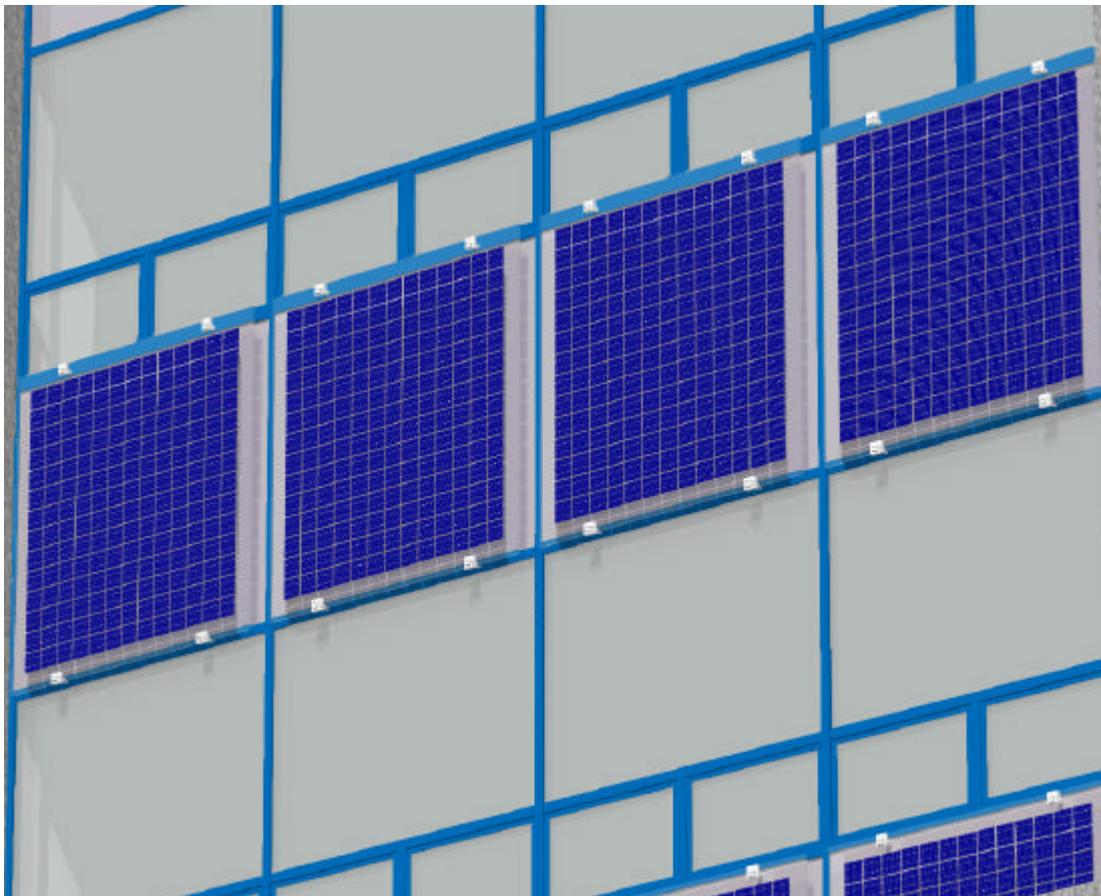


Abb. 5.7: Visualisierung des Brüstungsbereichs mit vorgesetzten PV-Modulen



Abb. 5.8-1: Visualisierung der Variante 1 mit polykristallinen Modulen von Südosten



Abb. 5.8-2: Visualisierung der Variante 1 mit amorphen Modulen von Südosten

5.2.2.2 Variante 2 – Module als Bauelement (Typ 2 nach Tabelle 5.1)

In dieser Variante dienen die PV-Module nicht als additiver Zusatz, sondern als integrierte Bauelemente. Die im Pfosten-Riegel-System integrierten Brüstungselemente, welche in diesem Gebäude aus blau getönten undurchsichtigen Glasscheiben bestehen, werden durch PV-Module ersetzt (Abb. 5.8 und Abb. 5.9).

Die PV-Brüstungselemente sind durch die Einbettung der Solarzellen in Verbundglas mechanisch hochstabil und elektrisch sehr sicher. Während bei Variante 1 eine Hinterlüftung durch die punktweise Befestigung gewährleistet war, kann die Integration im Brüstungsbereich in diesem Fall wegen der Abwärme der PV-Module im Sommer einen Einfluß auf die Innentemperatur des angrenzenden Raumes und den Wirkungsgrad der Module ausüben. Als Alternative zur Reduzierung eines solchen negativen Einflusses können alle in diesem Bereich eingesetzten PV-Elemente zwischen PV-Modul und Wärmedämmung hinterlüftet werden.

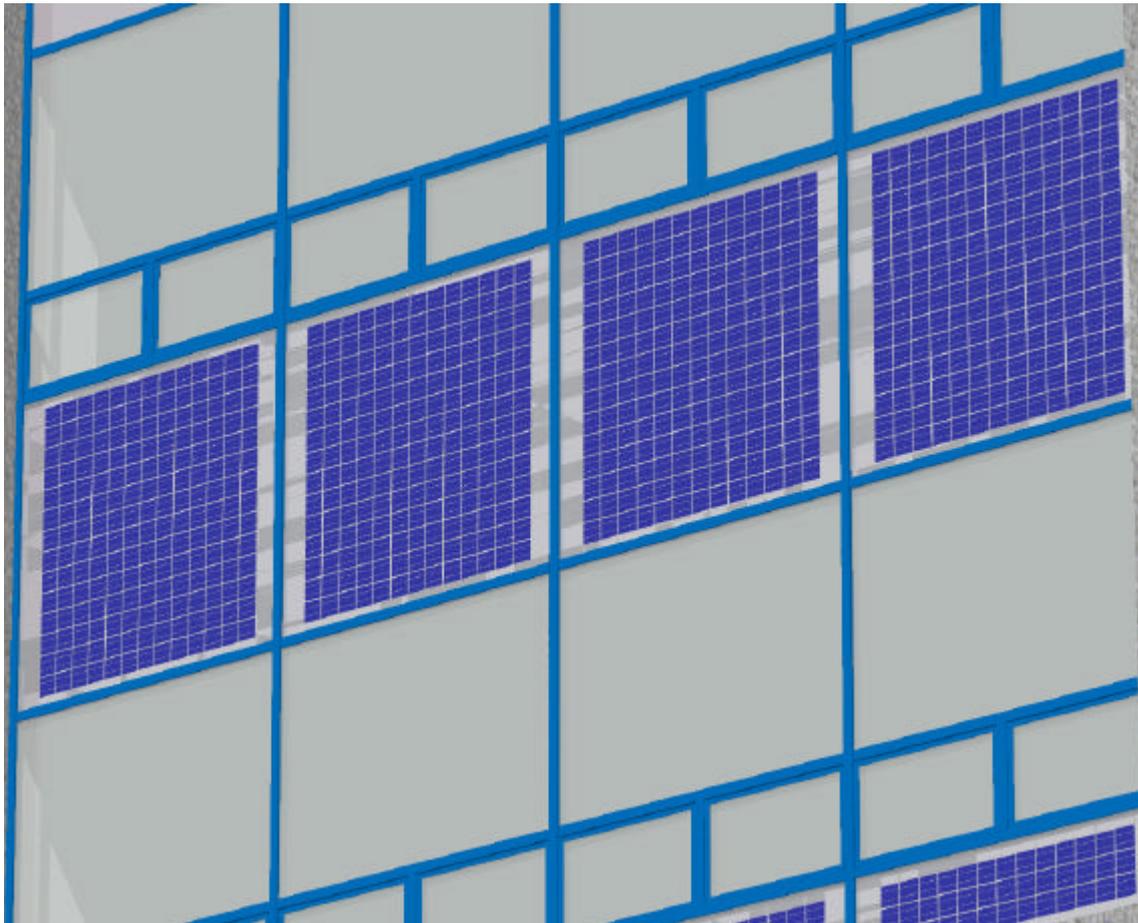


Abb. 5.9: Visualisierung der PV-Module als Brüstungselemente

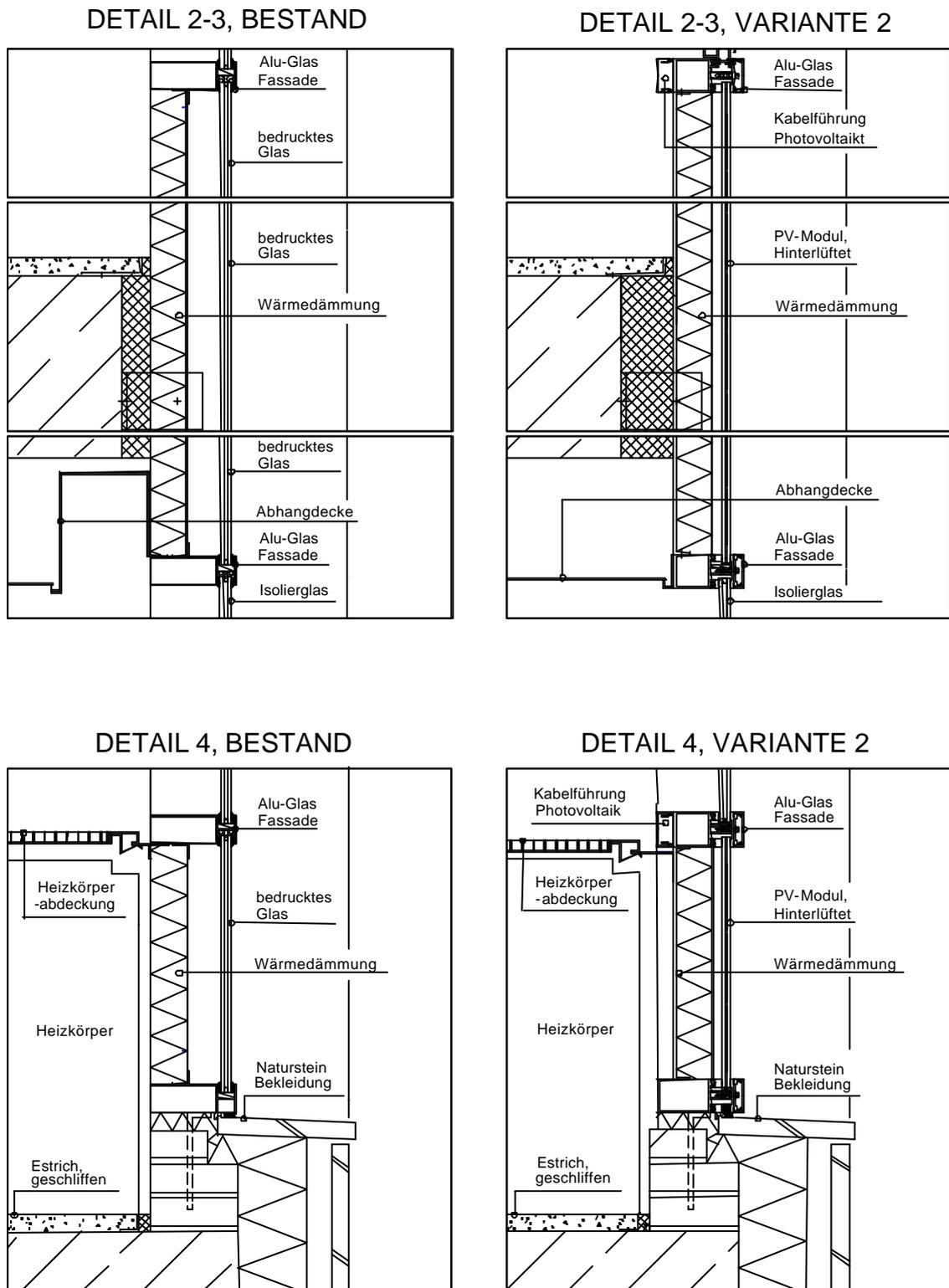


Abb. 5.10: Bestand und Photovoltaik-Integration, Detail 2-3 und 4, Variante 2
(Schnittführung s. Abb. 5.4)

PV-Elemente können an Stelle der Granitplatten die Funktion einer Gebäudehülle übernehmen. Damit entfallen die Kosten für konventionelle Fassadenbauelemente. Unter Berücksichtigung des bisherigen Erscheinungsbildes werden die PV-Module hier um die Fenster herum angeordnet, die vorher mit unterschiedlich farbigen Granitplatten bekleidet waren (s. Abb. 5.2, 5.8 und 5.11).

Hier kommen polykristalline Solarzellen, mit der charakteristischen dunkelblauen Farbe und einer hohen Belegungsichte pro Modul zum Einsatz. Wie in der Visualisierung zu sehen ist, erscheint das Gebäude in dieser Variante, ohne additive Bauelemente auf der Fassade, eleganter (s. Abb. 5.7 und Abb. 5.9).

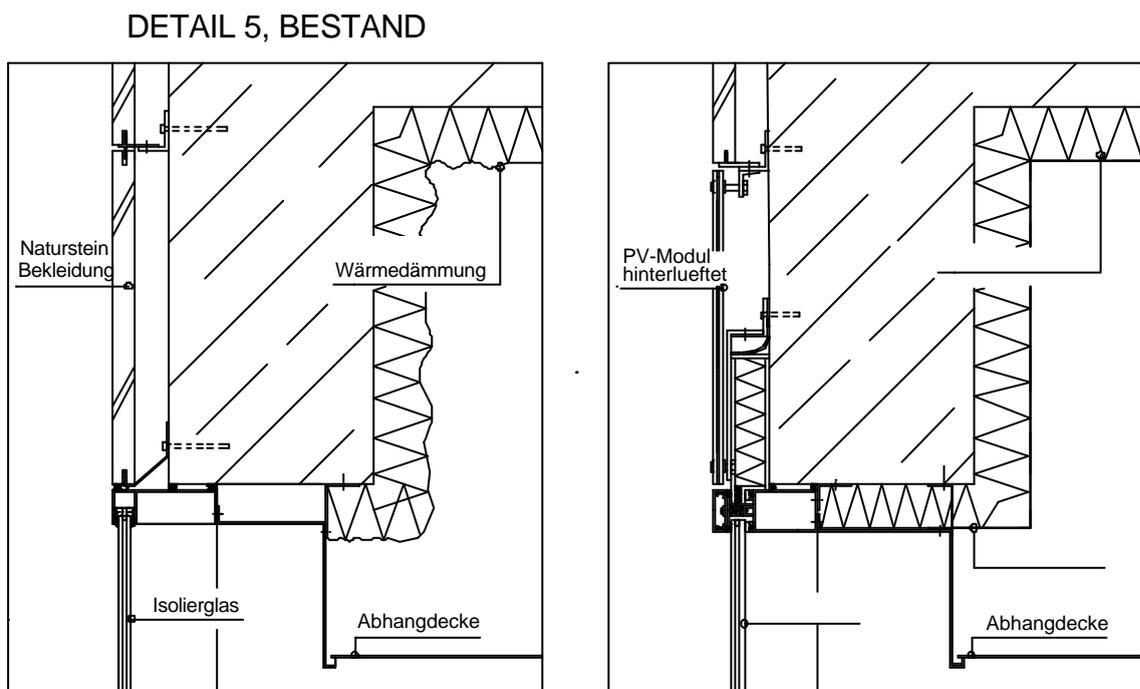


Abb. 5.11: Bestand und PV-Integration als Bekleidungsmaterial
(Schnittführung s. Abb. 5.4)

5.2.2.3 Variante 3 – Flachdachmontage

Das Flachdach dieses Gebäudes besteht aus einem Warmdach mit innenliegender Wärmedämmung und hat eine relativ große verschattungsfreie Fläche. Bei dieser Dachform ist es denkbar, daß die PV-Module mit einem Auf-Dach-Montage-System befestigt werden. In Abschnitt 2.4.3 in Kapitel 2 wurde gefordert, die Montagearbeit ohne Perforation der Dachdichtung durchzuführen. Um mit der in dieser Arbeit postulierten optimalen Neigung von 30° zur Horizontalfläche und südlicher Ausrichtung ohne Eigenverschattung die maximale Stromernte der PV-Anlage zu erzielen, muß der horizontale Abstand zwischen den Ständerreihen mindestens ihre zweifache Höhe betragen. Dies vermeidet ganzjährig eine gegenseitige Verschattung der Elemente (Abb. 5.12).

Wegen der hohen Attika wurden die PV-Module in diesem Beispiel mit ausreichendem Abstand vom Dachrand montiert (Abb. 5.13) und stehen dadurch auch im Winter bei niedrigem Sonnenstand verschattungsfrei. Die Ständerkonstruktion besteht aus einem Betonblock zum Befestigen des Gerüsts, U- bzw. Doppel-T-Rahmen und monokristallinen PV-Modulen.

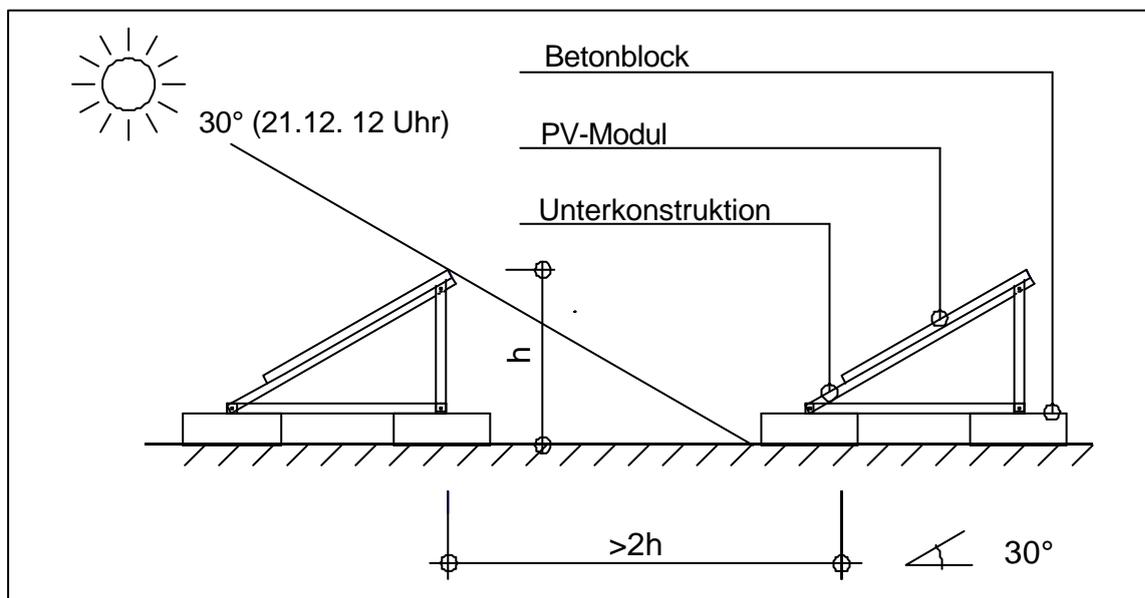


Abb. 5.12: Verschattungsfreie Anordnung der Flachdachmontage

Die Möglichkeit, die Stromernte durch die Verstellung der Neigung der PV-Module entsprechend der Jahreszeit zu erhöhen, ist aufgrund des relativen hohen Aufwandes nicht empfehlenswert. Für Flachdächer von bestehenden Gebäuden, welche keine Sanierung benötigen, eignet sich dieses Anwendungssystem wegen des geringen konstruktiven Aufwandes gut.



Abb. 5.13: Visualisierung der Variante 2 mit Dachmontage von Südwesten

5.3 Realisierung eines geplanten Verwaltungsgebäude

5.3.1 Gebäudebeschreibung

-Lage

Dieses Objekt ist geplant für die Beschaffungsbehörde der Provinz Kang-Won in Korea. Das 17.223 m² große Grundstück liegt in der Umgebung der Stadt Chun-Chen, 100 km nordöstlich von Seoul. Das Verwaltungsgebäude (ca. 792 m² bebaute Fläche) orientiert sich mit seiner Frontfassade nach Süden. Ein Wohnhaus (ca. 109 m²) und ein Lager (ca. 1.807 m²) sind ebenfalls auf dem Grundstück vorgesehen (s. Abb. 5. 14). Bedingt durch die Größe des Grundstücks mit Parkplätzen, Grünanlagen und Tennisplätzen bietet das freistehende Gebäude maximale Verschattungsfreiheit für eine PV-Integration in der großflächigen Südfassade. Dies bedeutet, daß sich der Nutzungsgrad im Vergleich zu innenstädtischen Nutzungen verbessert und die Stromernte vergrößert wird.

Im Zuge der Planungsarbeit wird versucht, diesem Objekt einen möglichst hohen architektonischen Integrationsgrad mit zeitgemäßen Gestaltungselementen zu geben.

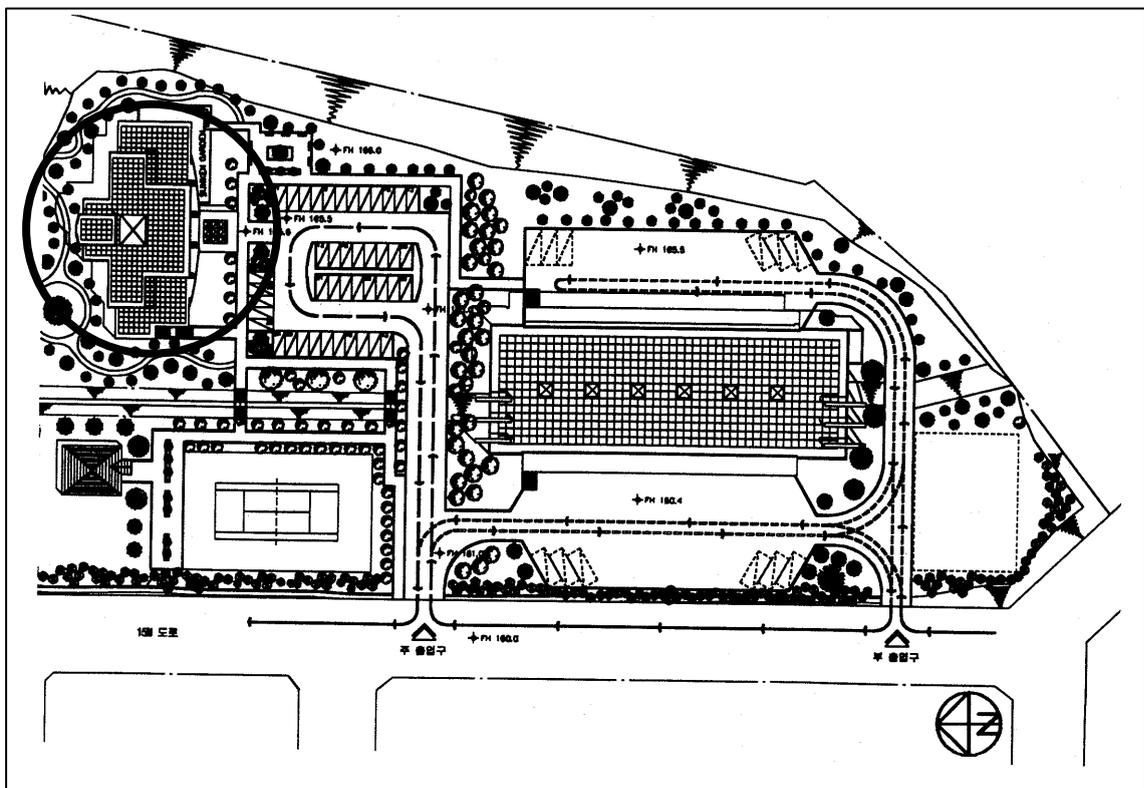


Abb. 5.14: Lageplan

-Baukörper

Das Gebäude ist dreigeschoßig, unterkellert und hat ein Atrium in der Gebäudemitte. Das nordseitig gelegene Treppenhaus mit den WC-Anlagen springt vom Baukörper vor. Die Gebäudegestaltung mit einer großflächigen vorderen Glasfassade und der hellen Farbe vermittelt einen offiziellen Charakter, und macht seine Funktion als Verwaltungsgebäude ablesbar. Aufgrund des sehr großen Gebäudevolumens im Vergleich zu normalen dreigeschoßigen Gebäuden, bedingt durch die Raumhöhe (EG: 5,20 m, 1.OG und 2.OG: 3,90 m) und das Atrium, muß im Interesse eines niedrigen Energieverbrauchs die Wärmedämm-, Sonnenschutz-, Licht- und Lüftungsplanung besonders sorgfältig durchgeführt werden. Sämtliche Fassadendetails dieses Objektes sind zu überarbeiten, da in der Vorplanungsphase an diesem Gebäude kein Sonnenschutz und keine ausreichenden Maßnahmen zur Wärmedämmung vorgesehen wurden.

5.3.2 Realisierung

Die Verschattungsstudie zeigt für die Südfassade des freistehenden Gebäudes keinerlei Verschattung. Durch die großflächige Glasfassade bleibt das Gebäude aus gestalterischen Sicht offen. Aus energetischer Sicht sind allerdings die winterlichen Wärmeverluste und die sommerliche Überhitzung, die wiederum einen hohen Kühlbedarf verursacht, sehr groß. In diesem Beispiel wurde versucht, für die PV-Anwendung an dem Gebäude unter dem Gesichtspunkt eines optimierten Sonnenschutzes, eine ansprechende Lösung zu finden.

5.3.2.1 Variante 1-Starre Vorrichtung (Typ 1 nach Tab. 5.1)

Um sowohl thermische Beeinträchtigungen als auch zu hohe Energiekosten für die Kühlung zu vermeiden, ist ein außen liegendes Sonnenschutzelement von größter Effizienz. Deshalb wird in diesem Fall die PV-Montage vor der eigentlichen Fensterscheibe untersucht. Die starre Sonnenschutzvorrichtung spart durch Abschirmen der direkten Einstrahlung Energie und gewinnt gleichzeitig Strom. Als Sonnenschutz werden die Solarzellen zwischen zwei Glasscheiben eingebettet, die von einer aus Aluminium oder Stahl bestehenden Tragkonstruktion getragen werden.

Wie in Kapitel 4 festgestellt wurde, steht die Sonne in der Hitzeperiode von Juni bis August in Korea steiler (65° - 75°) als in Mitteleuropa (Essen, 51° - 61°). Mit Hilfe des standortspezifischen Sonnenstandsdiagrammes (Abb. 5.15) ist festzustellen, daß die direkte Strahlung in den für Korea typischen Hitzestunden von 10 bis 15 Uhr in einem Winkel

von 45° - 75° einfällt. Hier genügt eine Elementtiefe von 80 cm, um die Büroräume in dieser Periode vor direkter Einstrahlung zu schützen (Abb. 5.16). Die Sonnenschutzvorrichtungen werden mit einer Neigung von 30° ausgerichtet. Diese Neigung optimiert die Sperrung der Einstrahlung der steil stehenden Sommersonne und das Einlassen der flach stehenden Wintersonnenstrahlung, ebenso wie die Stromerzeugung mit PV.

Durch die 80-prozentige Belegung mit blau schimmernden polykristallinen Solarzellen (insgesamt 91 Zellen pro Modulfläche) ist dieses Element zu 20 Prozent lichtdurchlässig (Abb. 5. 17). Die Module können an der Pfosten-Riegel-Konstruktion der Fassade beliebig befestigt werden (Abb. 5. 18). Ihre Länge entspricht dem Rastermaß der konventionellen Fassade. Ein Abstand von 5 cm von der Fassade sorgt dafür, daß das PV-Modul durch die Luftbewegung von unten nach oben abgekühlt wird (s. Abb. 5.18).

Die Verschattung durch diese Vorrichtungen kann zu einer Verminderung des Tageslichtangebots im Raum führen. Hier ist es zweckmäßig, mit Lichtlenkelementen im Oberlichtbereich über den PV-Modulen insbesondere den vom Fenster entfernten Raumbereich aufzuhellen (s. Abb. 5.16).

Die im Brüstungsbereich eingesetzten PV-Module bilden ein Paneel-System (s. Abb. 5.18), wobei jedes Paneel mit insgesamt 143 Solarzellen bestückt ist. Eine Wärmedämmung trennt das Paneel vom Innenraum. Über eine Hinterlüftung zwischen Dämmung und Paneel besteht die Möglichkeit, die Wärme des Moduls abzuführen.

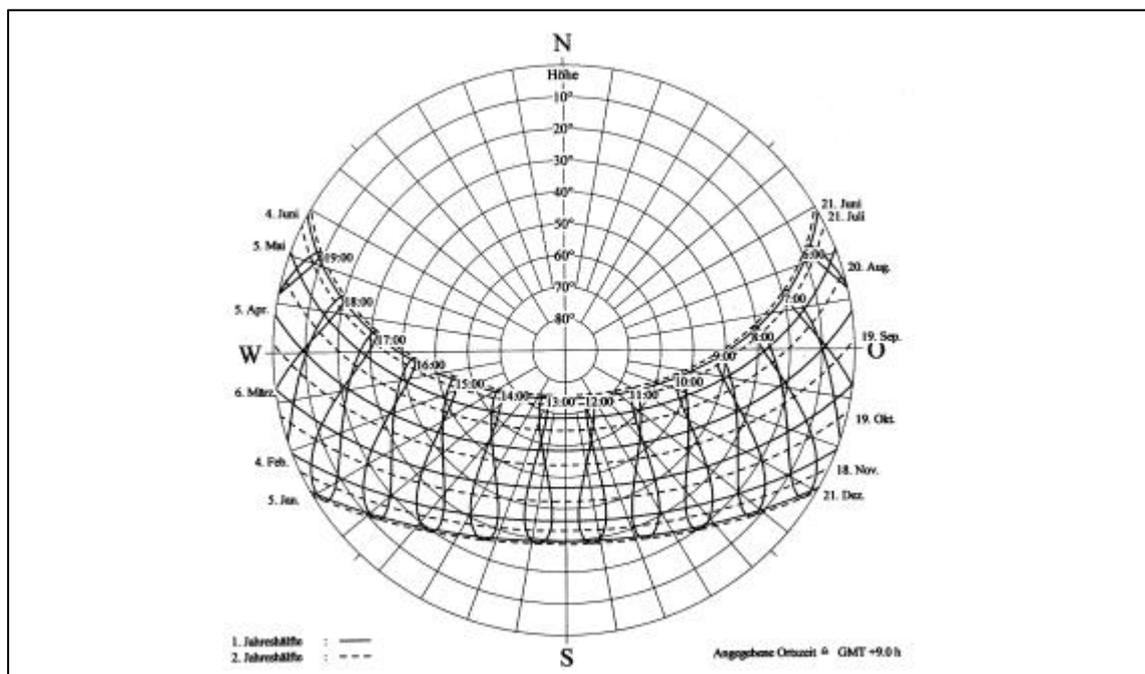


Abb. 5.15: Standortspezifisches Sonnenstandsdiagramm für Chun-Chen

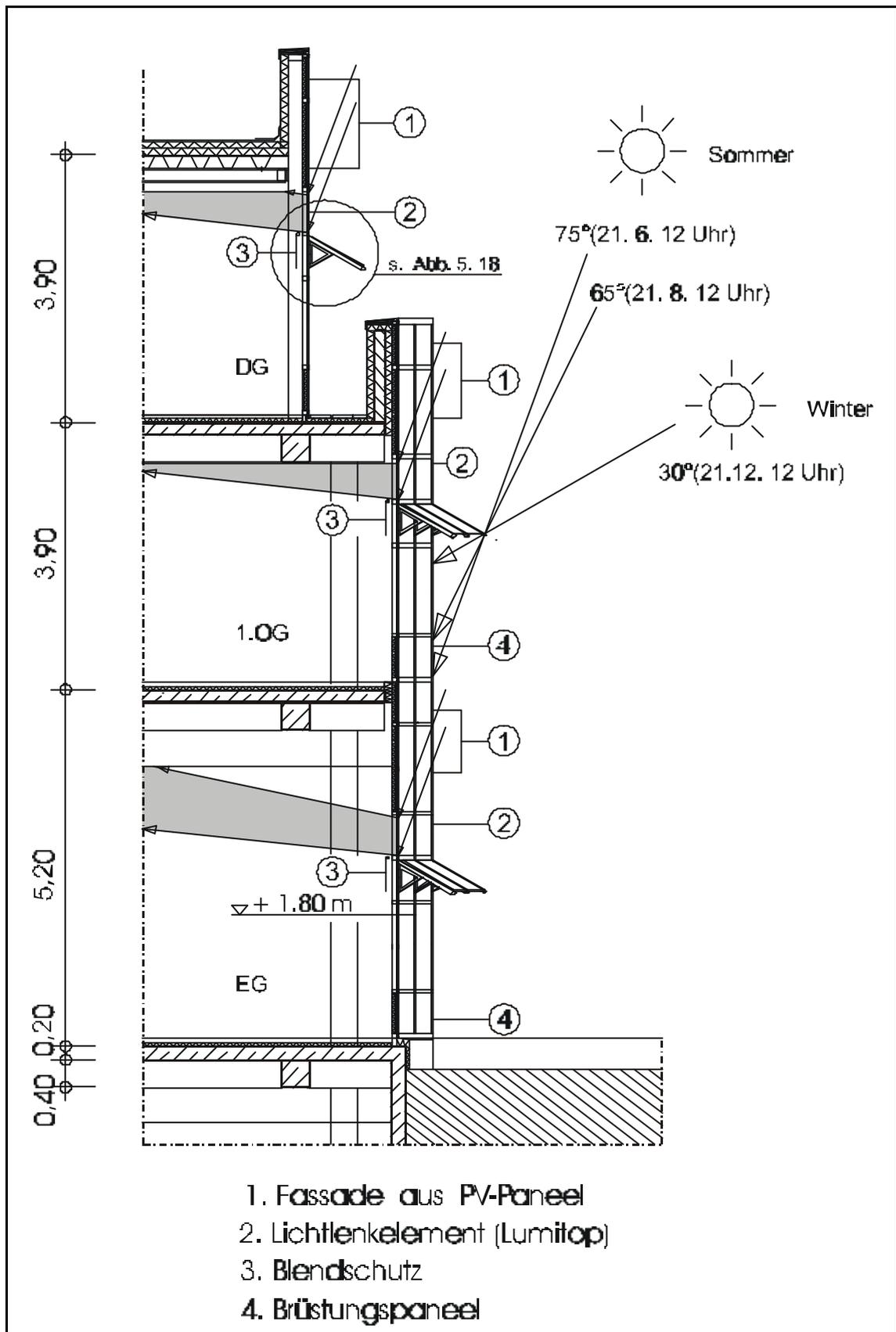


Abb. 5.16: Schnitt mit starren Sonnenschutz-Elementen

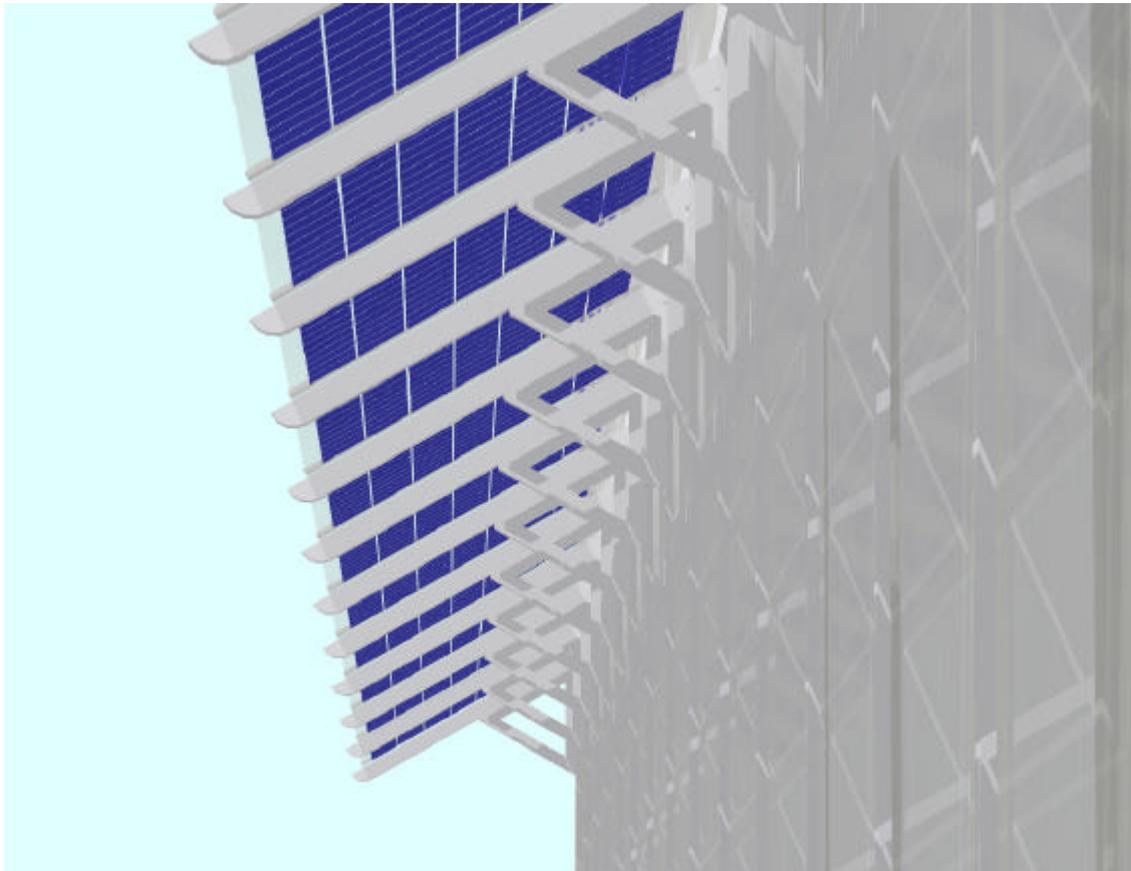


Abb. 5.17: Visualisierung des starren Sonnenschutzelementes

Zur Integration in die Dachhaut wird die Verglasung des Atriumdaches, mit Ausnahme der Nordseite, durch PV-Module ersetzt. Sie lassen 30 Prozent des Tageslichtes in den Raum. Das neu geplante PV-Schrägdach des Treppenhauses ergibt nicht nur ein markantes Bild, sondern es lassen sich auch die nach Norden orientierten oberen Verglasungen im Treppenhaus reduzieren.

Die Abbildung 5.19 zeigt deutlich, daß die PV-Elemente als Sonnenschutz funktionsfähig sind, und darüber hinaus als Gestaltungsform Einfluß auf das „Gesicht“ der Architektur haben. Bei einer alternativ durchgeführten Variation der Farbe der Solarzellen durch die Anwendung von amorphen PV-Modulen erhält das Gebäude aufgrund der braunen Farbgebung der Solarzellen ein völlig anderes Erscheinungsbild. Allerdings ist auch zu erkennen, daß die Kombination dieser Farbe mit anderen hellen Baukomponenten schwierig ist.

Der Vorteil dieser Variante liegt darin, daß der technische Aufwand für Montage und Wartung relativ niedrig gehalten werden kann. Trotz der Vorhängung vor der Fassade wird die Tageslichtnutzung mit dem Einsatz der Lichtlenkelementen nur gering beeinträchtigt und den Blick aus dem Fenster bleibt erhalten. Nachteilig ist, daß der Sonnenschutzeffekt schwächer ist, wenn der Sonnenstand von der Mittagsstellung beispielsweise am frühen Vormittag oder am späten Nachmittag abweicht, und wegen der fixierten Neigung von 30° im Sommer im Gegensatz zu beweglichen Elementen die maximale Stromernte nicht erreicht werden kann.

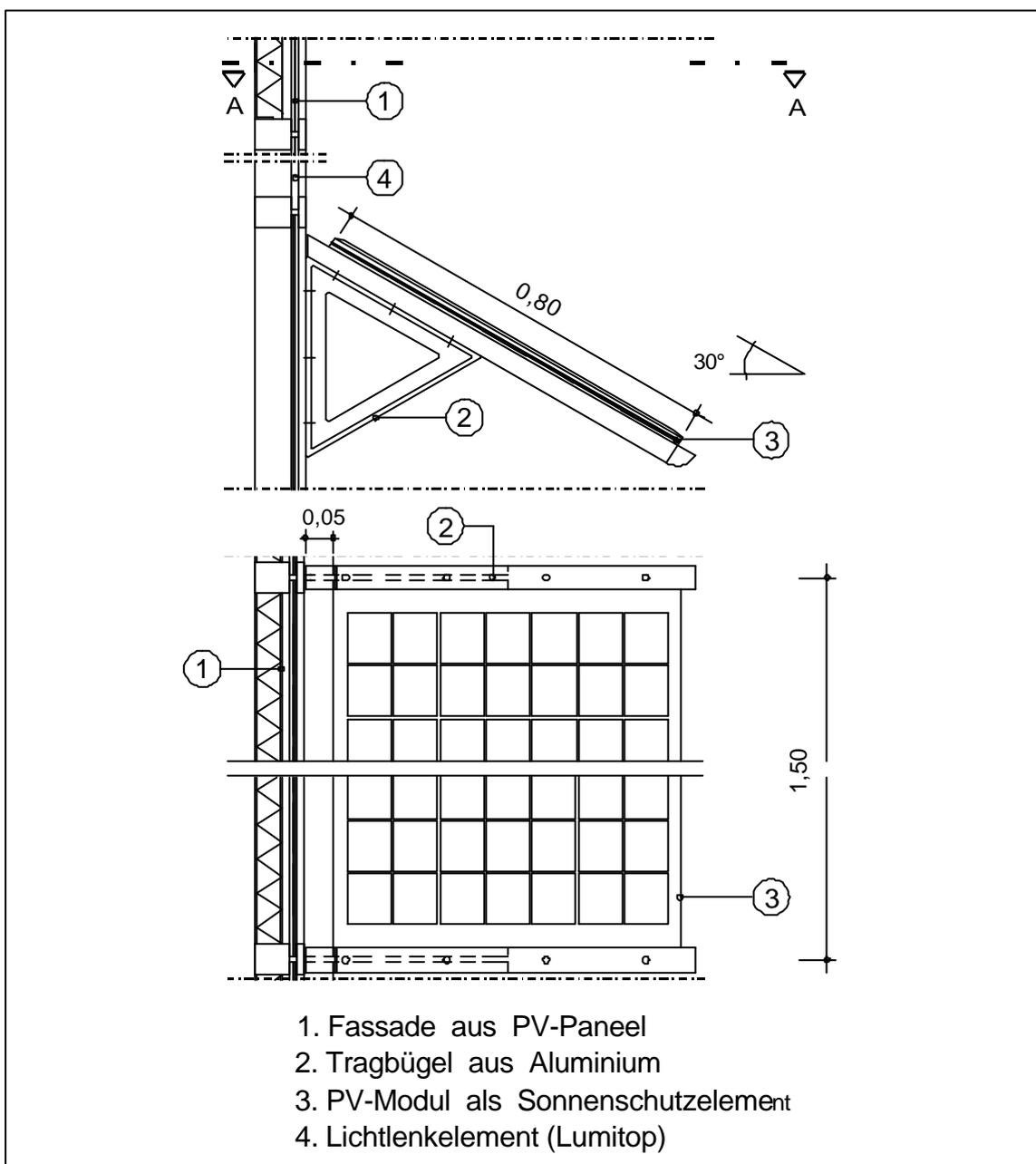


Abb. 5.18: Schnitt und Aufsicht A-A des starren Sonnenschutz-Elementes

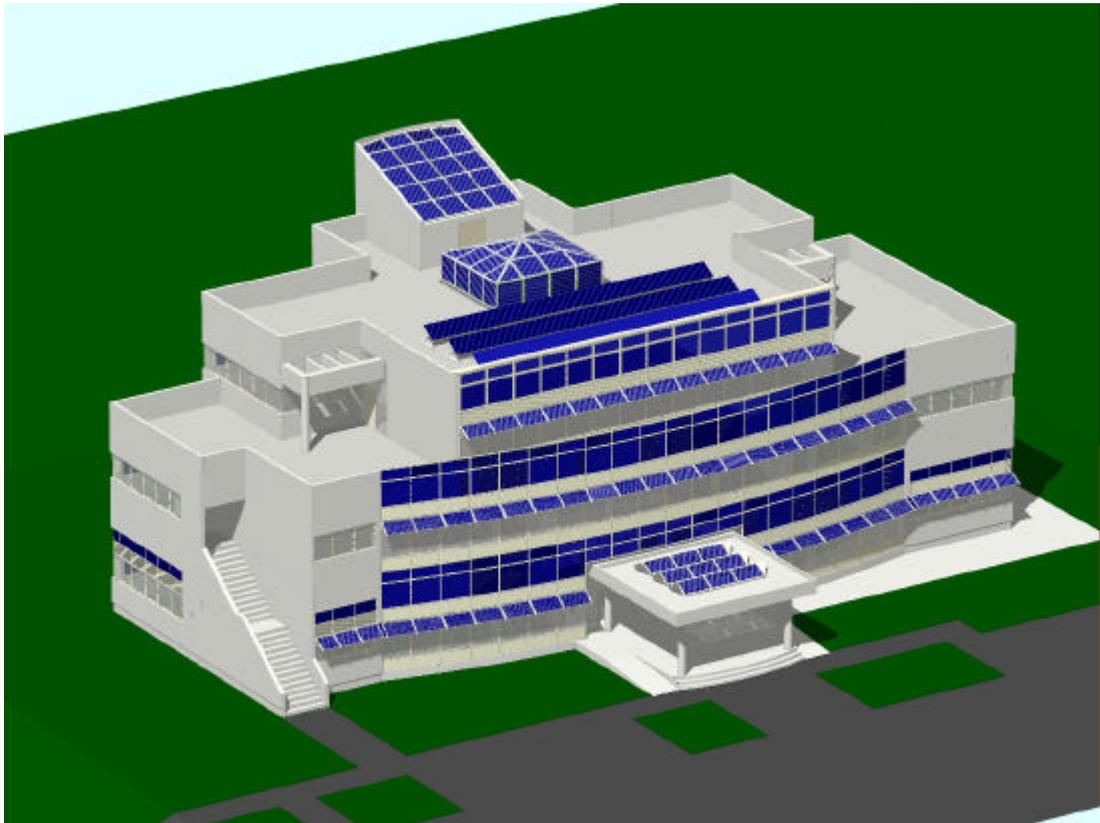


Abb. 5.19: Visualisierung mit polykristallinen PV-Modulen von Südwesten, Variante 1



Abb. 5.20: Visualisierung mit amorphen PV-Modulen von Südosten, Variante 1

5.3.2.2 Variante 2 – Bewegliche Vorrichtung (Typ 1 nach Tab. 5.1)

Eine wichtige Anforderung an den Sonnenschutz ist, daß trotz ausreichender Verschattung eine Tageslichtnutzung und ein freier Ausblick möglich sein sollten. Um diese Anforderung umzusetzen, wird hier versucht, vor der nach Süden orientierten Glasfassade ein aktiv bewegliches System anzubringen. In diesem System nimmt die Sonnenschutzvorrichtung die Trägerfunktion für den Einsatz der PV-Module anstelle konventioneller Komponenten ein. Dabei verwendet man steuerbare Glaslamellen, welche durch die zwischen zwei Glasscheiben eingebetteten polykristallinen Solarzellen und auf die Rückseite der unteren Scheibe aufgebracht Siebdruck_Schatten im Innenraum spenden. Sie sind 1400 mm lang und 400 mm breit, die Stärke beträgt insgesamt 8 mm. Die 24 Solarzellen sind nur auf einer Hälfte der Lamelle in zwei Reihen angeordnet, um eine gegenseitige Verschattung zu vermeiden (Abb. 5.21).

Ein Element besteht aus zwei PV-Lamellen, welche an einem horizontalen T-Träger durch Klemmhaken befestigt sind und über ein vertikales Gestänge in ihrer Neigung entsprechend dem jeweiligen Sonnenstand nachgeführt werden (Abb. 5.22 und s. Abb. 5. 23).

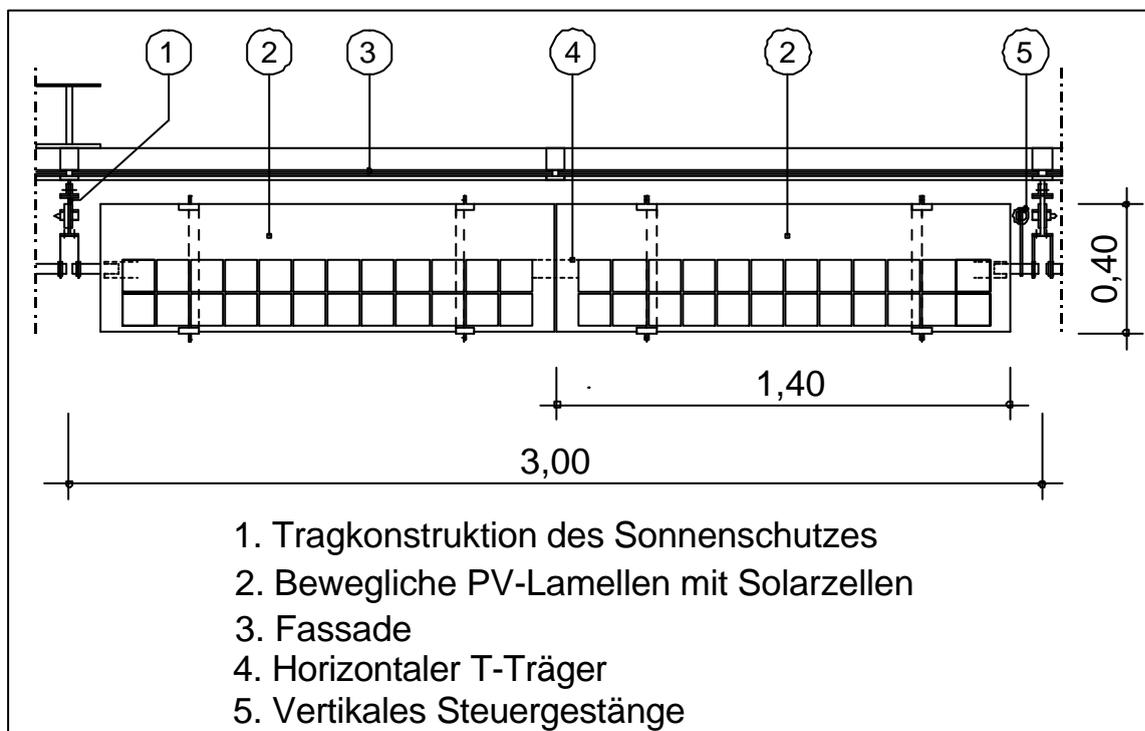


Abb. 5.21: Aufsicht des PV-Sonnenschutzelementes

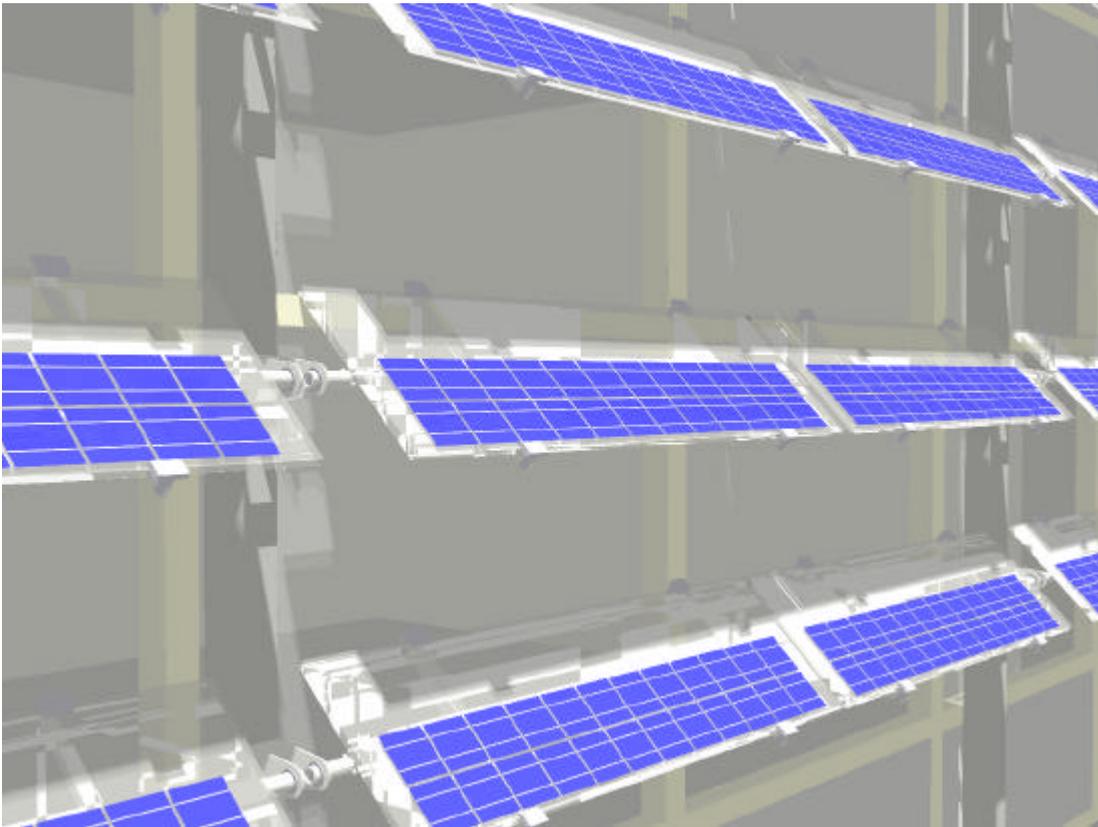


Abb. 5.22: Visualisierung, Sonnenschutzlamellen mit PV-Anwendung

In einem Elementraster von 3 m sind jeweils 14 PV-Lamellen für jedes Geschoß mit einem Abstand von 650 mm übereinander an den Doppel-T-Trägern montiert (Abb. 5.23). Eine ausreichende Verschattung während des Koreanischen Sommers ist nach der simulationsgestützten Verschattungsstudie trotz des großen Abstandes gewährleistet. Ein innenliegender Blendschutz ist jedoch für die niedrig stehende Sonne erforderlich. Hier erreicht die Zahl der PV-Lamellen insgesamt 348. Sie sind keine additive Komponenten, sondern wesentliche Baukomponenten (s. Abb. 5. 24). Die Nachführung zum Sonnenstand optimiert die Energiegewinnung der Solarzellen. Eine Abkühlung der PV, die sich durch die Luftbewegung in dem Abstand zwischen Fassade und PV-Lamellen ergibt, wirkt sich ebenfalls positiv auf den Wirkungsgrad aus.

Die in Abbildung 5.23 dargestellten Schnitte zeigen einige der interessanten Konstruktionsdetails dieser Fassade. Sie sind in erster Linie an funktionalen Aspekten ausgerichtet. Außerdem ist in der Visualisierung (Bild 5. 25) zu erkennen, daß die beweglichen PV-Lamellen durch die horizontale Ausrichtung und die blaue Farbe in dem großflächig verglasten Bereich der Südfassade ein hervorragendes Gestaltungselement darstellen. Um ein ansprechendes Gesamtbild der Fassade zu schaffen, ist es nicht optimal, verschiedene PV-Module in unterschiedlichen Farben in zu kombinieren.

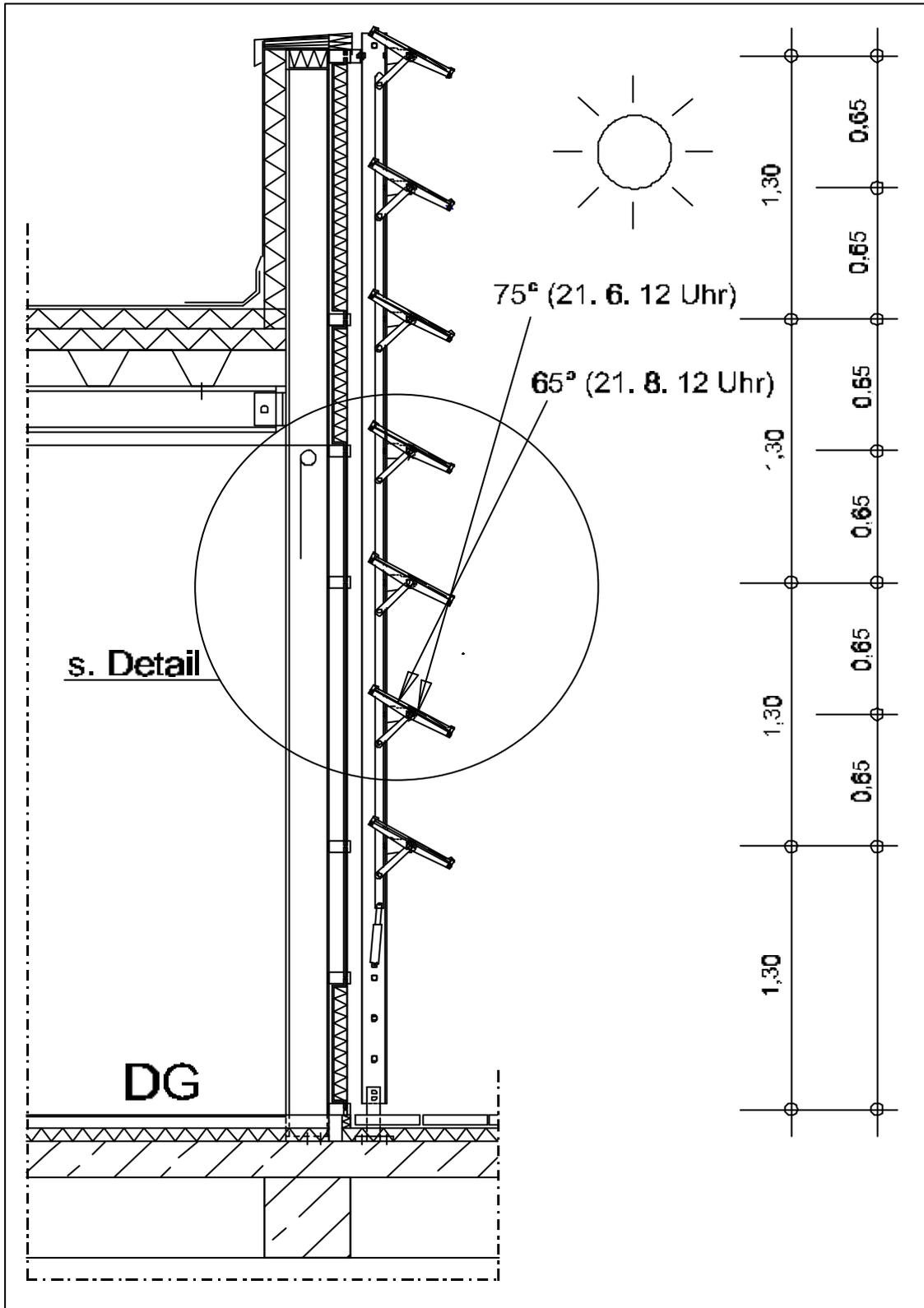


Abb. 5.23: Vertikalschnitt der Südfassade mit PV-Lamellen

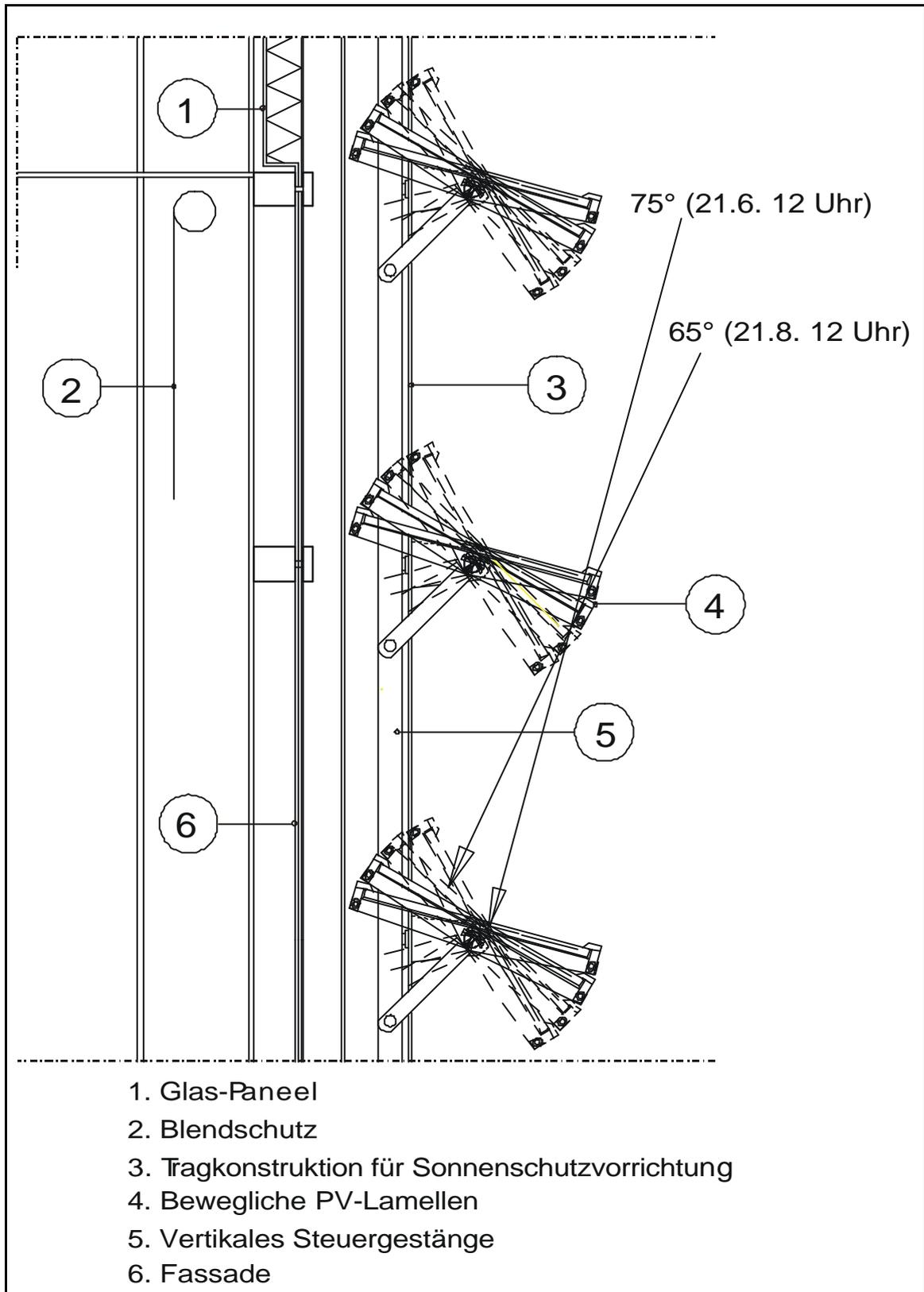


Abb. 5.24: Details Vertikalschnitt der Südfassade mit PV-Lamellen

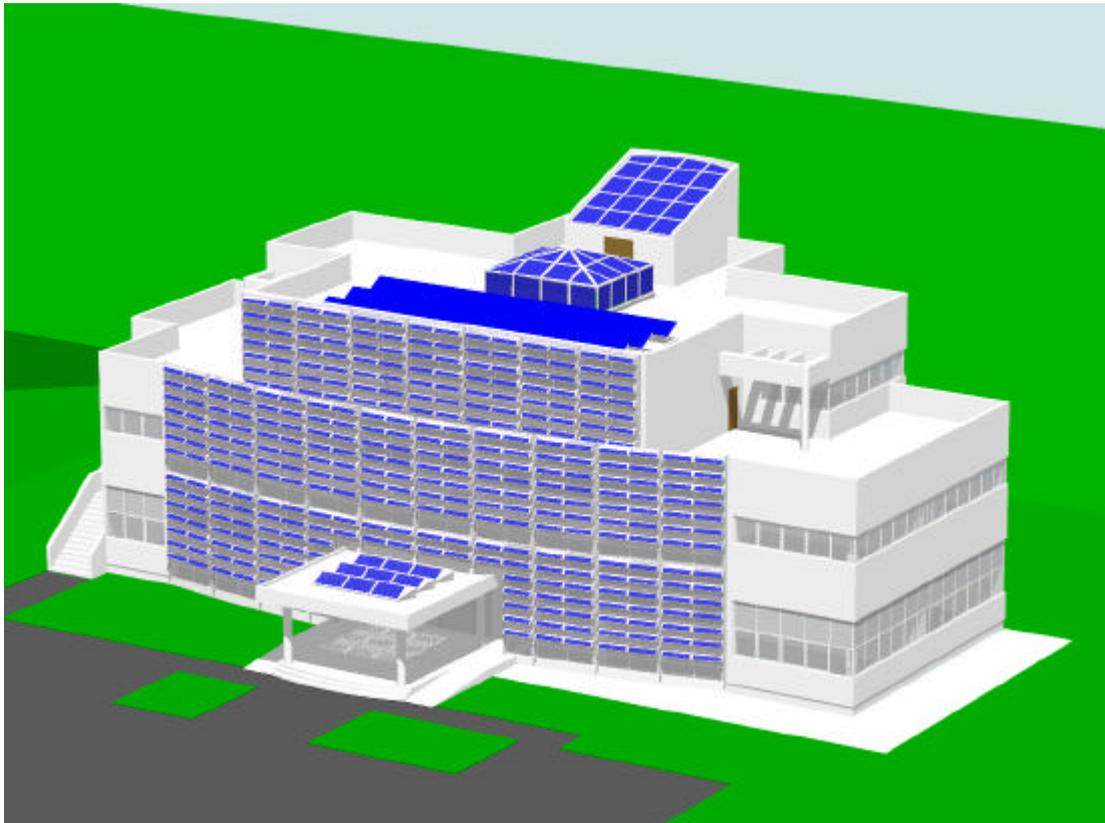


Abb. 5.25: Visualisierung mit polykristallinen PV-Elementen von Südosten

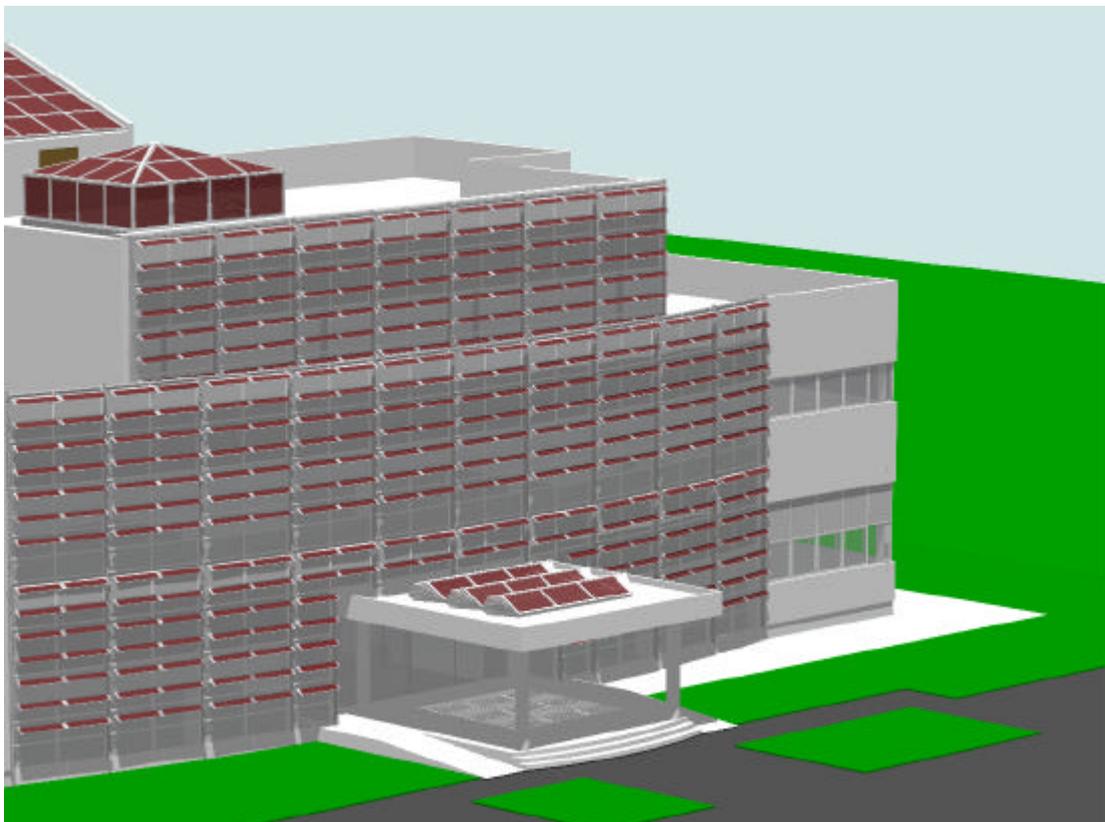


Abb. 5.26: Visualisierung mit amorphen PV-Elementen von Südwesten

5.3.2.3 Variante 3 – Holographisch-optische Elemente (Typ 1 nach Tab. 5.1)

In der Variante 1 und 2 wurde festgestellt, daß der Einsatz der starren und beweglichen Elemente nachteilig für optimale Solarernte und freie Durchsicht, bzw. Tageslichtnutzung sein kann. Daher wird in dieser Variante versucht, durch Kombination von beiden Systemansätzen unter Einsatz von Holographisch-optischen Elementen (HOE) diese Beeinträchtigungen zu vermeiden. Dabei wird ein aktives Sonnenschutzelement mit konzentrierenden Hologrammen verwendet. Die theoretische Grundlage dieses Elementes wurde in Abschnitt 2.4.5 erläutert.

Drei Elemente werden in dieser Variante oberhalb des Sichtfeldes vor dem Fensterbereich horizontal integriert (Abb. 5.27), weil aufgrund des hohen Sonnenstandes im Sommer in Korea die Eigenverschattung stark wäre, wenn die Elemente vor der Fassade vollflächig eingesetzt würden. Die hier integrierte Elemente sind 290 cm lang und 40 cm breit (Abb. 5.28) und werden an Bügelarmen, die direkt an Pfosten der Bestandsfassade befestigt werden, montiert (Abb. 5.29). Hier erreicht die Zahl der Elemente insgesamt 72. Im Brüstungsbereich werden PV-Paneele über den Sonnenschutzelementen integriert. Die Elemente sind für eine Verschattung in der Wärmeperiode von Mai bis September ausgelegt.

Durch das im Oberlichtbereich eingesetzte Lichtlenksystem (Lumitop) und die Durchlässigkeit der Sonnenschutzelemente für diffuses Licht ist die Tageslichtnutzung gegenüber einem konventionellem Sonnenschutz deutlich verbessert. Die gesteuerte Ausrichtung zur Sonne über das ganze Jahr und die Konzentration der direkten Einstrahlung durch die HOE ermöglicht eine maximale Solarernte. Aufgrund der durchsichtigen HOE und der hohen Befestigungsposition der Elemente bleibt die Außensicht frei.

Die Visualisierung (Abb. 5.30) zeigt, daß dieses Sonnenschutzsystem mit einer ausreichenden Verschattung hervorragend funktioniert. Mit der Umsetzung von hoch entwickelter Technologie, wie bei diesem Element, ist es möglich, das Gebäude funktional und energetisch intelligenter zu nutzen.

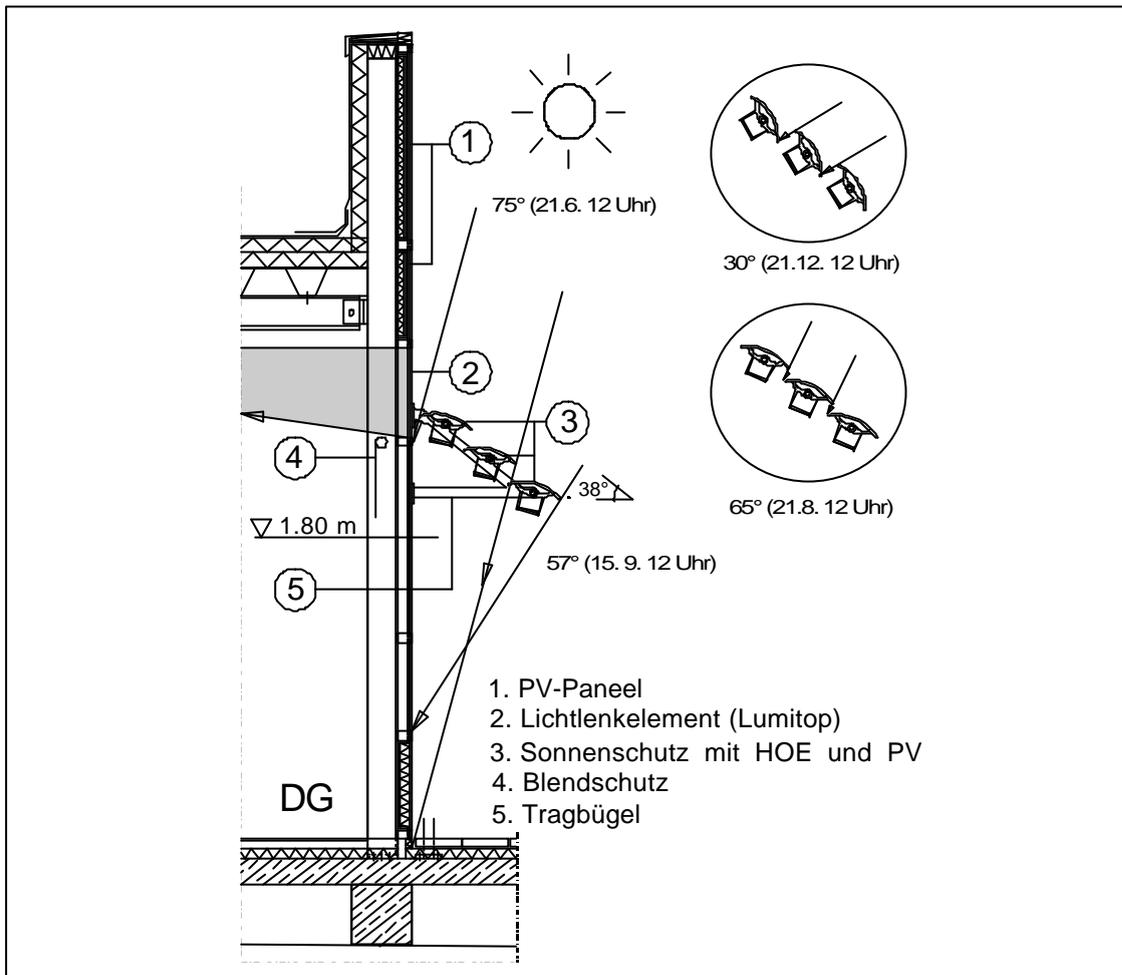


Abb. 5.27: Vertikalschnitt der Südfassade, Sonnenschutz mit HOE und PV

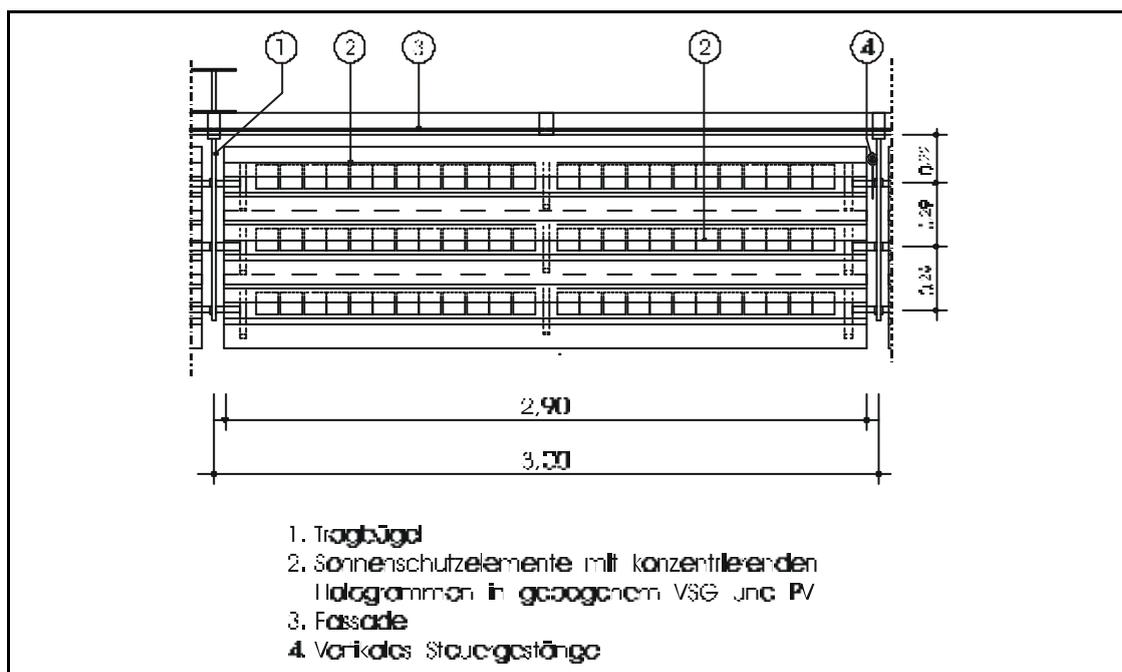


Abb. 5.28: Aufsicht des Sonnenschutzelementes mit HOE und PV

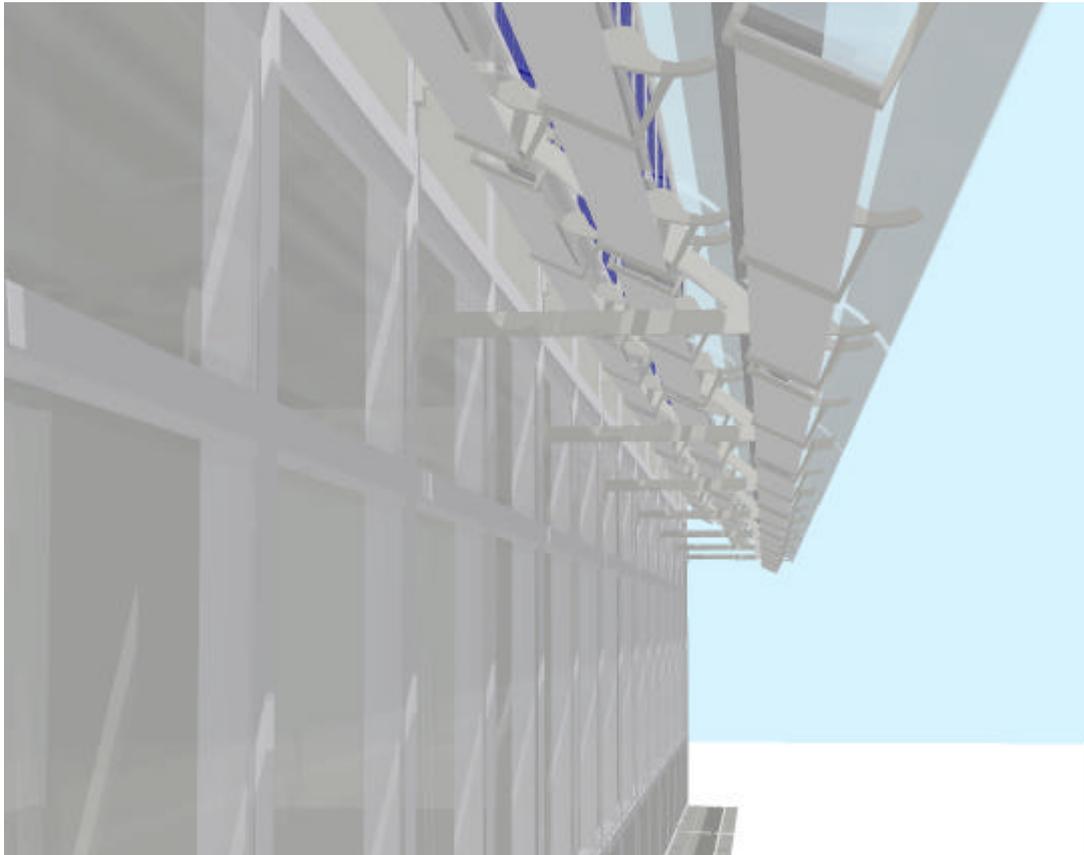


Abb. 5.29: Visualisierung des Sonnenschutzelementes mit HOE und PV

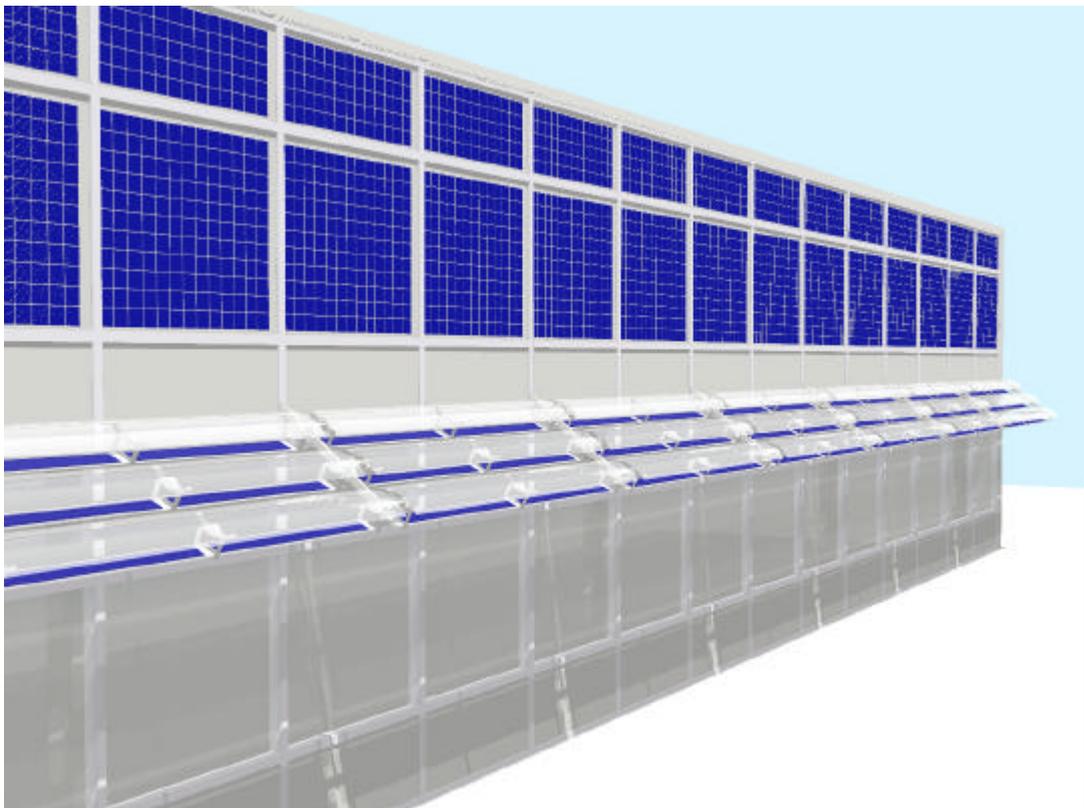


Abb. 5.30: Visualisierung des Sonnenschutzelementes mit HOE und PV

5.4 Umsetzung an einem bestehenden Apartementgebäude

5.4.1 Gebäudebeschreibung

- Lage

Das Objekt, es handelt sich hier um Sozialwohnungen, steht in einem Häuserblock, der im Zuge des Wohnungsbaus in Seoul kürzlich errichtet wurde und aus mehreren Apartement-Hochhäusern und Geschäftsgebäuden besteht. Städtebaulich wurde das Gebiet, in dem sich der Block befindet durch die von Südwest nach Nordost verlaufende Hauptstraße klar in zwei verschiedene Bereiche geteilt. Auf der südöstlichen Seite der Hauptstraße befinden sich typische Einfamilienhäuser, auf der Nordwestseite der besprochene Apartementblock. Der längere Trakt dieses Objektes hat durch die Orientierung nach Südosten, die davor liegende breite Straße und die daran anschließenden Einfamilienhäuser, günstige Voraussetzungen zur direkten Nutzung der Sonnenenergie. Wegen der schlechteren Ausrichtung des kürzeren Traktes nach Nordosten ist dort die Möglichkeit der Sonnenergienutzung begrenzt. Auf der Stirnseite des langen Traktes steht ein sechsgeschossiges Geschäftsgebäude (Abb. 5. 31). Bei den Apartementsblocks, die in Korea meistens als dicht beieinander stehende Hochhäuser (12 bis 15 Stockwerke) errichtet werden, kann es bei der sonst gut möglichen Besonnung zu Schwierigkeiten bei den Mikroklima-Verhältnissen und bei der Aussicht, zumindest in den unteren Geschossen, kommen.

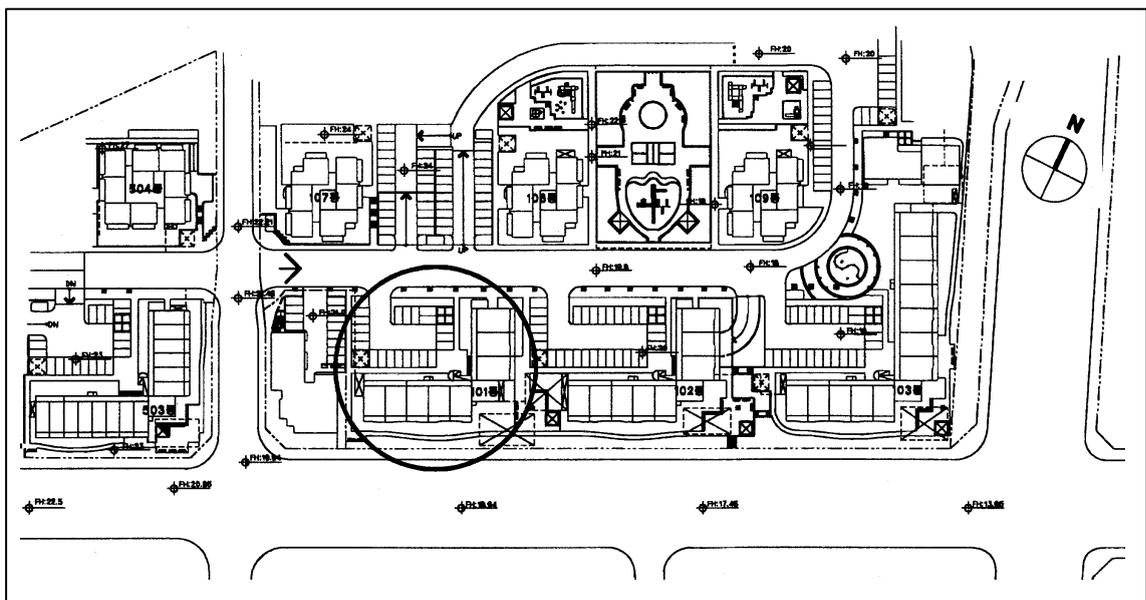


Abb. 5.31: Lageplan

- Baukörper

Der L-förmige Gebäudetyp dieses Gebäudes besteht dieses Objekt aus zwei Trakten. Ein langer Trakt nach Südosten beinhaltet 51 Wohnungen, welche einheitlich ca. 58 m² groß sind. Er ist 15-geschossig und im oberen Bereich über zwei Geschosse mit je zwei Wohneinheiten stufig verkürzt. Der andere kurze Trakt nach Nordosten hat ebenfalls 15 Geschosse, beinhaltet aber 44 Wohneinheiten von ca. 67 m². Das Haupttreppenhaus mit Aufzügen befindet sich im Schnittpunkt der beiden Gebäudetrakte. Erschlossen wird jede Wohnung durch einen in Korea üblichen Laubengang. Im Grundriß wurden die Räume so angeordnet, daß sich das Wohn- und Schlafzimmer mit Balkon auf der Vorderseite befindet. Die äußere Verglasung des Balkons mit Alu-Rahmen ähnlich wie bei einer Doppelfassade [96][97][98][99][100] bildet eine Pufferzone. Die Nebenräume sind auf der Laubengangseite angeordnet. Das Gebäude wurde als Stahlbetonkonstruktion errichtet, wobei die Fassadenoberflächen ohne jedes Bekleidungs material mit Dispersionsfarbe angestrichen sind. Im allgemeinen verläuft die Fassadenoberfläche bei einfachen Gebäudeformen ohne komplizierte Geometrie durchgehend (Abb. 5.32).



Abb. 5.32: Animationsbild des Bestandsgebäudes, Ostansicht

5.4.2 Ausführung

5.4.2.1 Variante 1 (Typ 3 nach Tab. 5.1)

In dieser Variante wird versucht, durch PV-Integration im Balkonbereich nicht nur den Energieverbrauch zu verringern, sondern die PV-Elemente als Bauelemente und gleichzeitig als Stromerzeuger zu verwenden. Die Maßnahmen der Wärmedämmung im Balkonbereich sind in Korea meistens vernachlässigt worden. Damit ist nachvollziehbar, daß besonders durch eine thermisch nicht getrennte Balkonplatte (s. Abb. 5.35) Energieverluste und daraus folgende Bauschäden möglich sind. Daher ist es notwendig, im Bereich zwischen der beheizten Zone und dem Balkon sorgfältige Maßnahmen der Wärmedämmung zu treffen. Dabei werden die thermisch nicht getrennten Stahlbetonwände und der Balkon bzw. die Bodenplatte mit 5 cm starker Wärmedämmung auf der Innen- und Außenseite nachträglich umhüllt (Abb. 5.34 und 5.35).

Auf Grund von entsprechender Wärmedämmung werden die PV-Elemente im unteren Bereich die sonst übliche Glasscheiben ersetzen (s. Abb. 5.35 und 5.36). Für die Tageslichtnutzung und für die freie Aussicht wird Isolierglas im oberen Bereich eingesetzt. Das Balkonfenster vor dem Schlafzimmer wird dem Wohnzimmerfenster entsprechend umgestaltet, um die PV-Einsatzfläche zu vergrößern. Dabei beträgt die verfügbare Integrationsfläche in dieser Fassade ca. 240 m². In diesem Fall dienen die PV-Module auch als Sonnen- und Sichtschutz. Durch Öffnen der Fassadenfenster im Sommer (s. Abb. 5.36) kann die im Balkonbereich entstehende Wärme nach Außen zirkulieren, während im Winter durch das Schließen der Fenster eine zusätzliche passive Nutzung der Sonnenenergie ermöglicht wird.

Die hier integrierten PV-Module erreichen trotz vertikaler Ausrichtung hohe Leistungen durch die Belegung mit monokristallinen Hochleistungszellen und haben eine einheitliche Größe von 80 cm x 90 cm. Der Belegungsgrad der Module beträgt 82 Prozent, um einen Sichtschutz und eine hohe Ausbeute zu realisieren (Abb. 5.36). Abbildung 5.37 zeigt, daß die PV-Integration ohne konstruktive Schwierigkeiten umgesetzt werden kann.

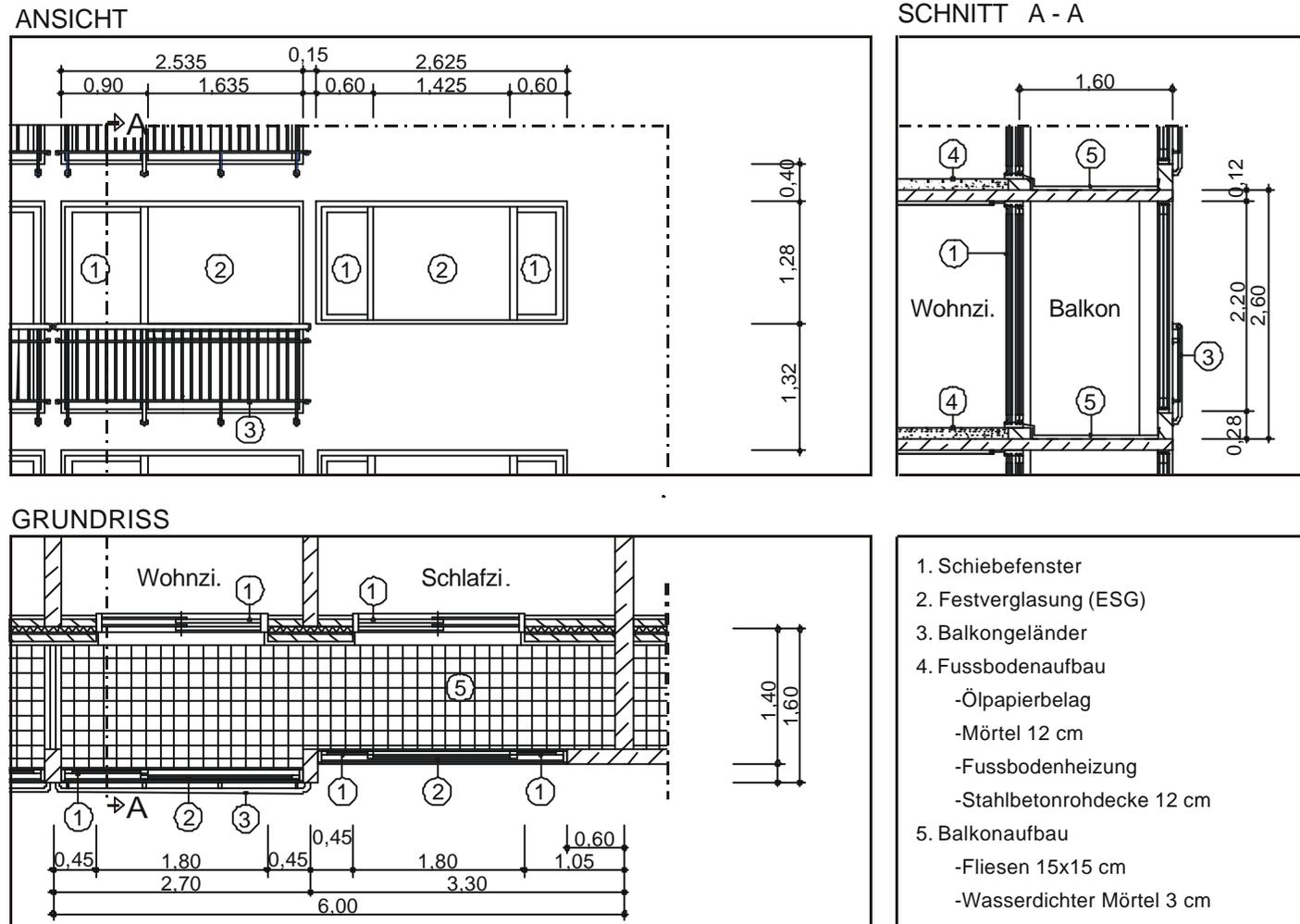
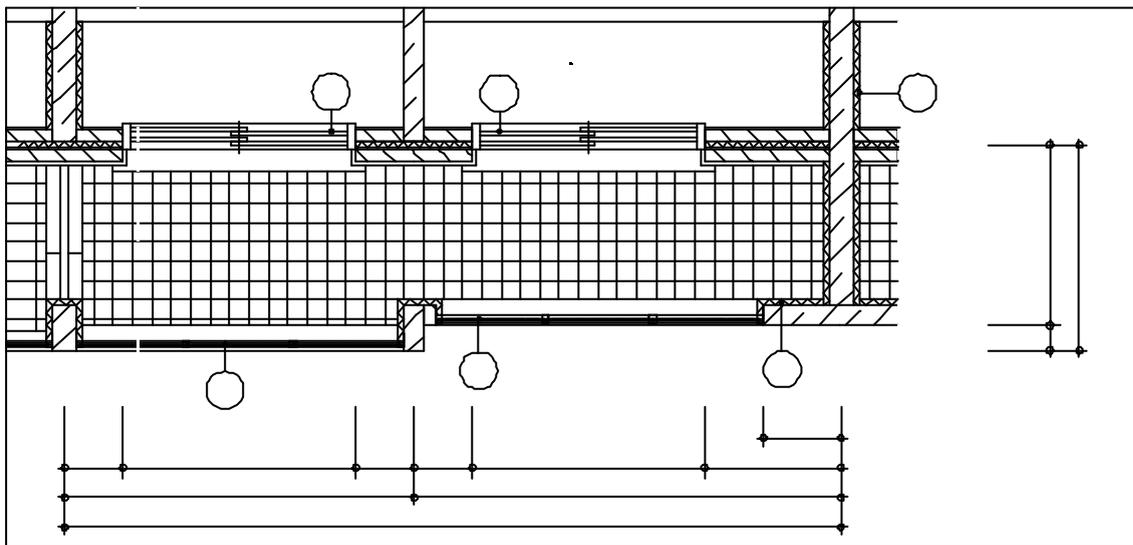
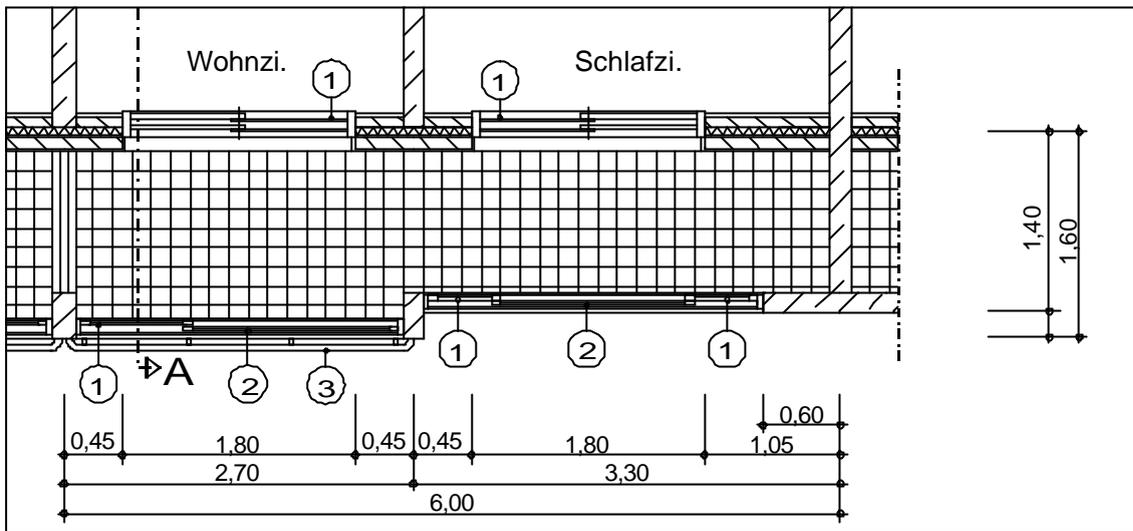
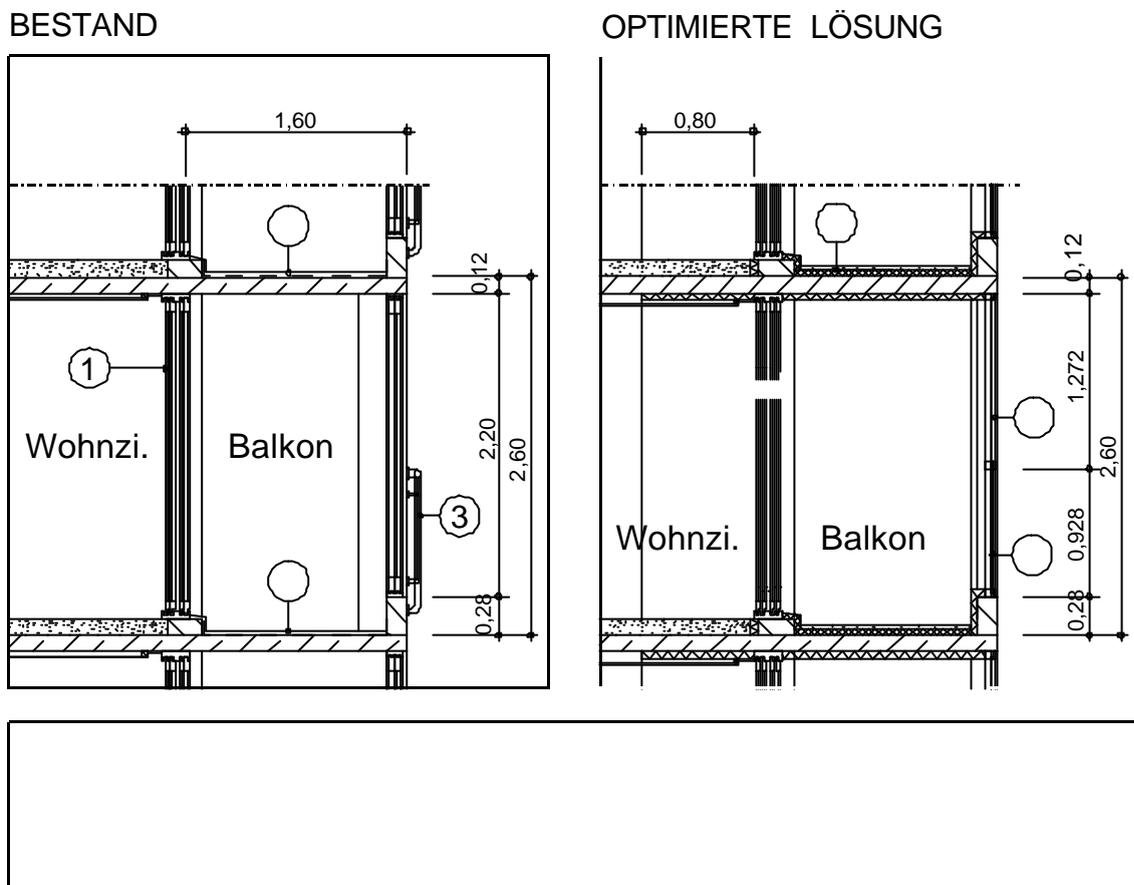


Abb. 5.33: Teilansicht, -schnitt und -grundriß der Südostfassade im Bestand



A b b . 5 und 4; Bestand (oben) und optimierte Lösung (unten)

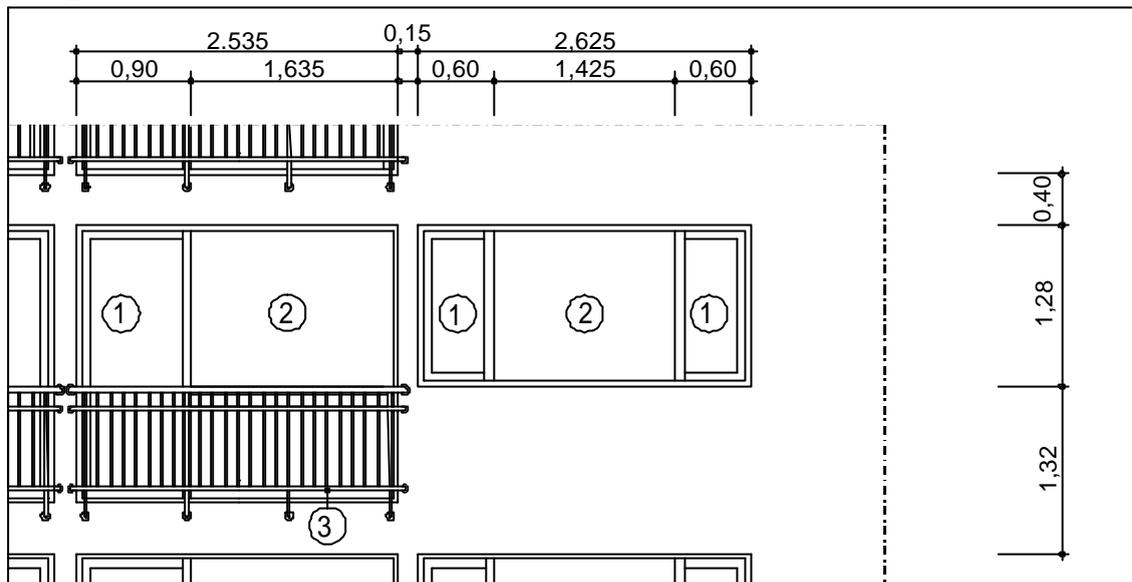


A b b . Teilansicht, Bestand und Variante

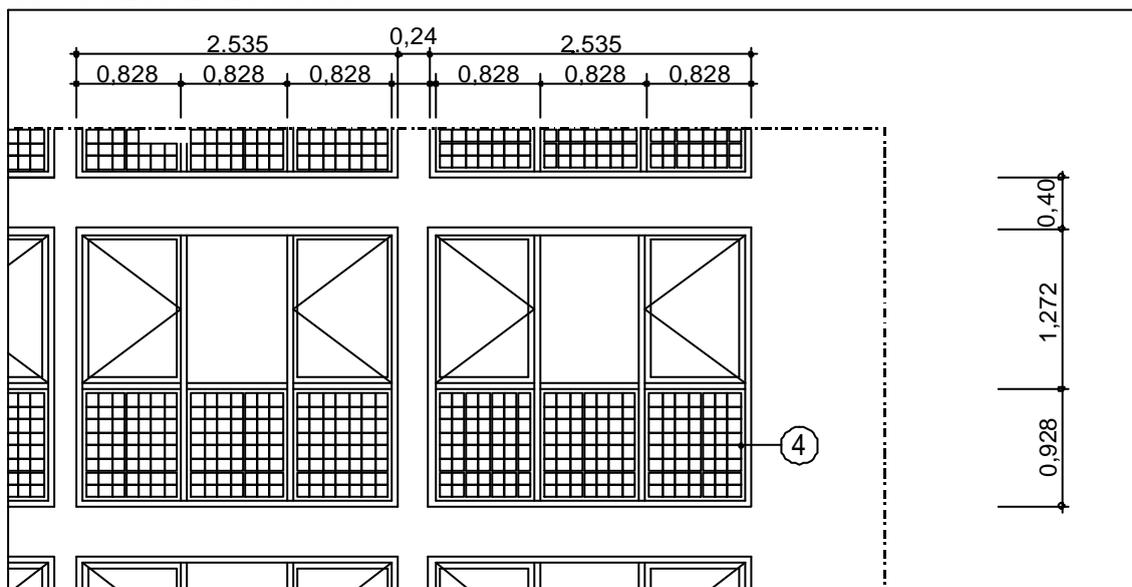
5.4.2.2 Montage auf Dach

Trotz der Möglichkeit, bei PV-Anlagen sowohl den direkten als auch den diffusen Anteil der Sonnenstrahlung zu nutzen, ist die Energiemenge des direkten Anteils die größere. In diesem Fall bietet das Gebäude sehr reichlich Außenflächen, die während eines großen Teil des Tages direkt von der Sonne beschienen werden. So eignen sich beispielsweise der Dachbereich, die südwestliche Stirnfassade und das Treppenhaus für PV-Anwendung. Bei der PV-Anwendung auf dem Dach besteht ein Nachteil gegenüber der Brüstungsintegration darin, daß die PV-Module aufgrund der nachträglichen Integration nicht als Bauelemente dienen können. Dennoch wird in dieser Variante versucht, eine einheitliche Modulgröße von 155 x 69,2 cm zu verwenden.

BESTAND



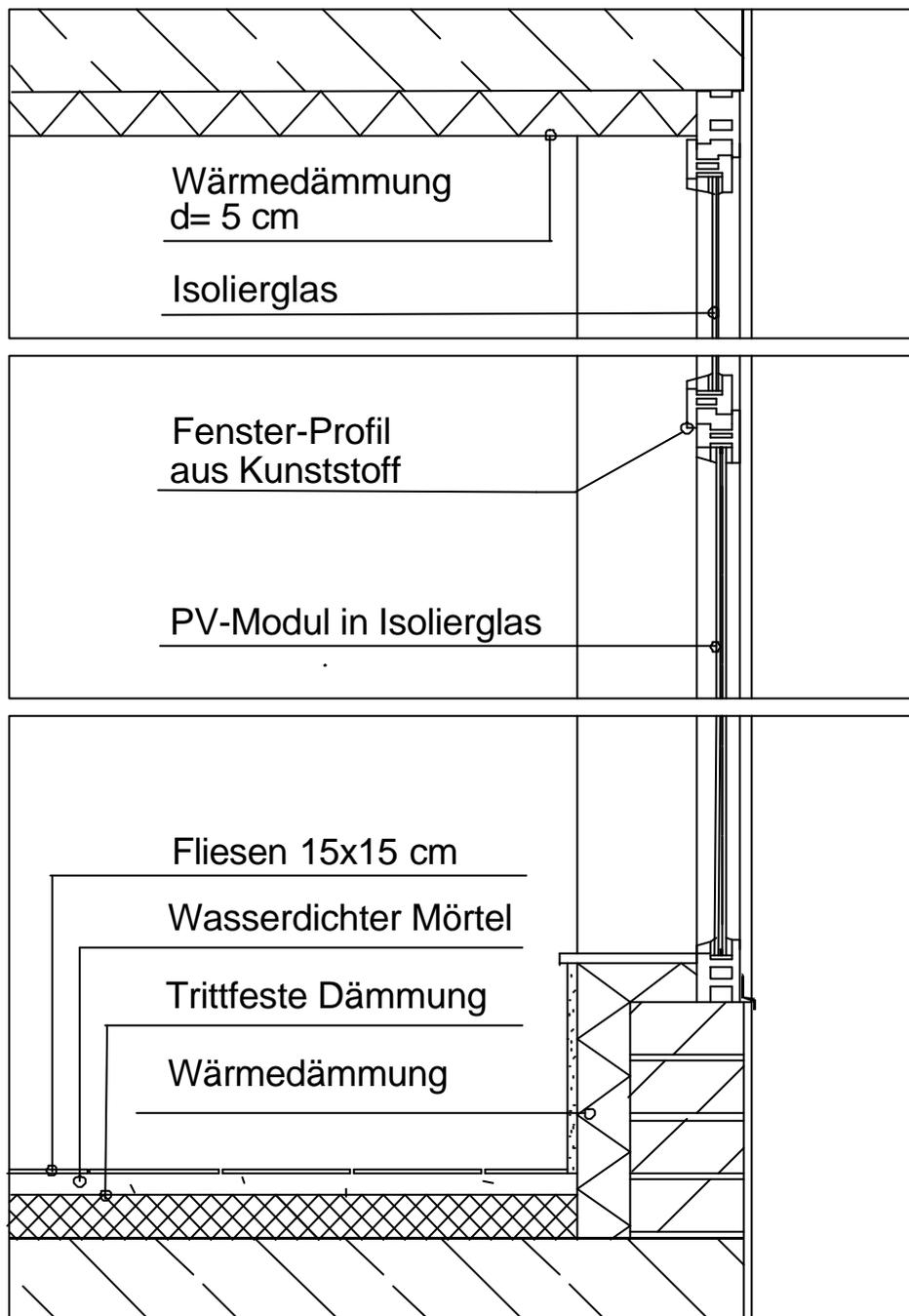
OPTIMIERTE LÖSUNG



- 1. Schiebefenster
- 2. Festverglasung

- 3. Balkongelaender
- 4. PV-Modul in Isolierverglasung

A b b . Teilansicht, Bestand und Variante



A Detailschnitt vom Balkon

In weiteren Bereichen dieses Gebäudes werden beispielhaft verschiedene Lösungen für photovoltaische Anwendungen demonstriert. An dem gestuften Gebäudeabschluß wurden die PV-Module an einer Stahlkonstruktion aus IPE-Profilen befestigt. Dies soll unter gestalterischen Aspekten zur Ergänzung dieses Bereiches dienen. Dabei könnten die senkrechten Flächen dieser Konstruktion auch als Werbefläche zur Verfügung stehen.

Um den Wirkungsgrad zu erhöhen, werden die PV-Module in der oberen Hälfte der südwestlichen Stirnfassade schuppenartig montiert. In diesem Fall erhält die Anlage einen Neigungswinkel von 30° gegenüber der horizontalen Fläche.

Auf dem Flachdach erreicht das dort installierte System bei Neigungswinkel von 30° und einer Orientierung nach Süden die optimale Solarernte.

Aufgrund der zeitweise eintretenden Eigenverschattung ist die PV-Integration am Treppenhaus nur begrenzt möglich. Dennoch bieten die Südwestfassade des Treppenhauses, welche als höchste Stelle dieses Gebäudes relativ gut besonnt wird, und der Fensterbereich in der Südostfassade großzügige Flächen zur PV-Anwendung. Die streifenartige dunkelfarbige PV-Fläche am Fenster macht mit der Integration in Brüstungselemente das Erscheinungsbild dieses Gebäudes lebendiger als mit der Bestandsfassade (Abb. 5.38 und 5.39) und ist ein Zeichen für das Umweltbewusstsein der Bewohner. Die hier beschriebenen Integrationen liegen der Verschattungssudie zugrunde (Abb. 5.40, 5.41 und 5.42).

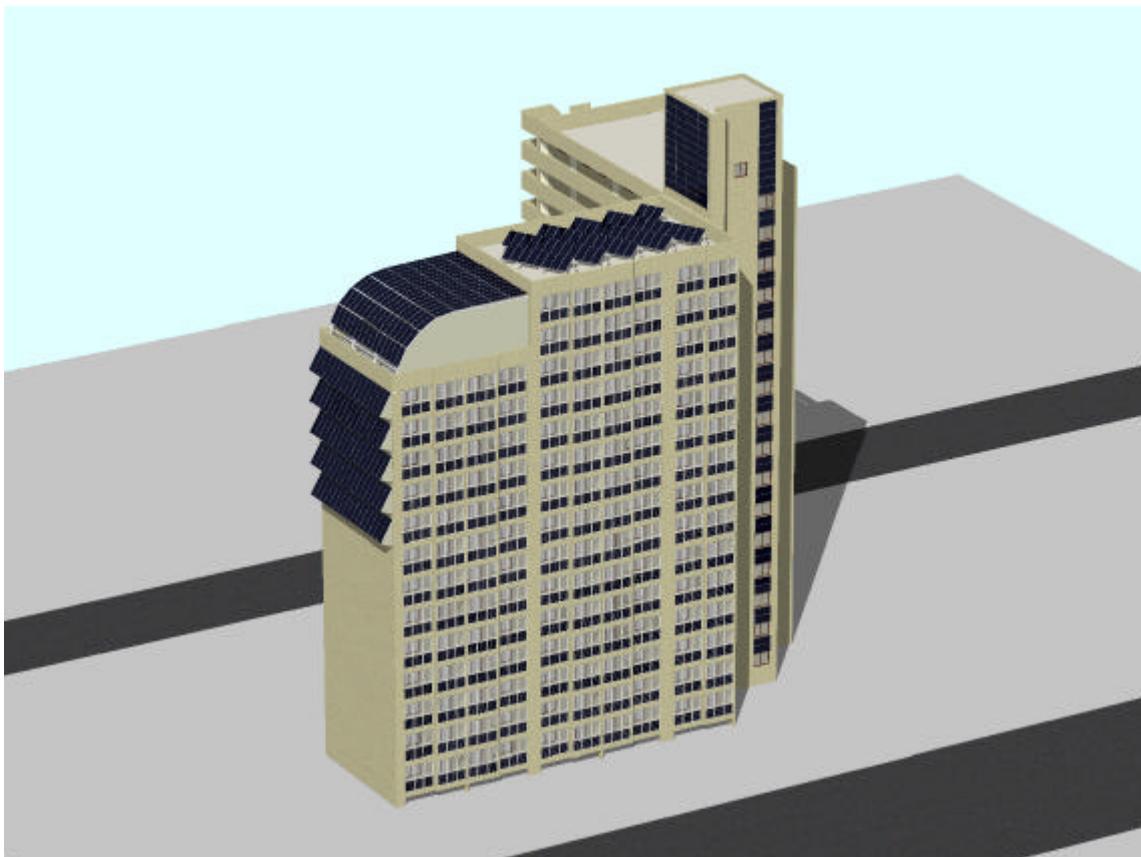
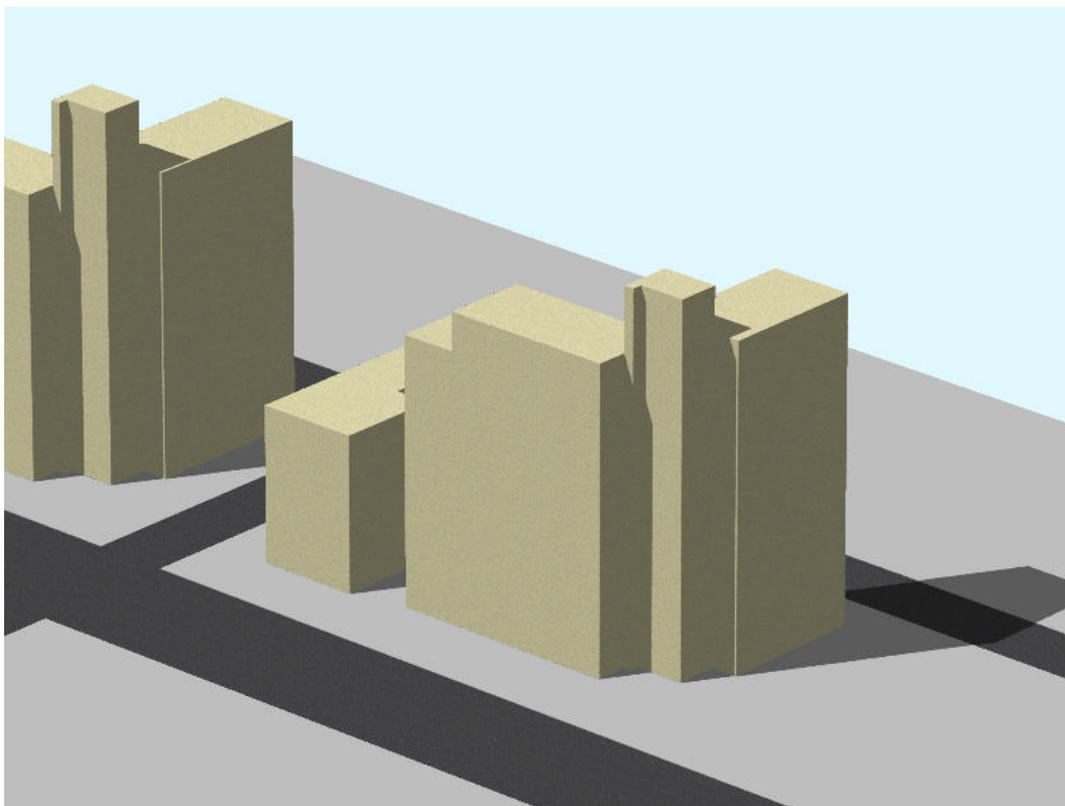


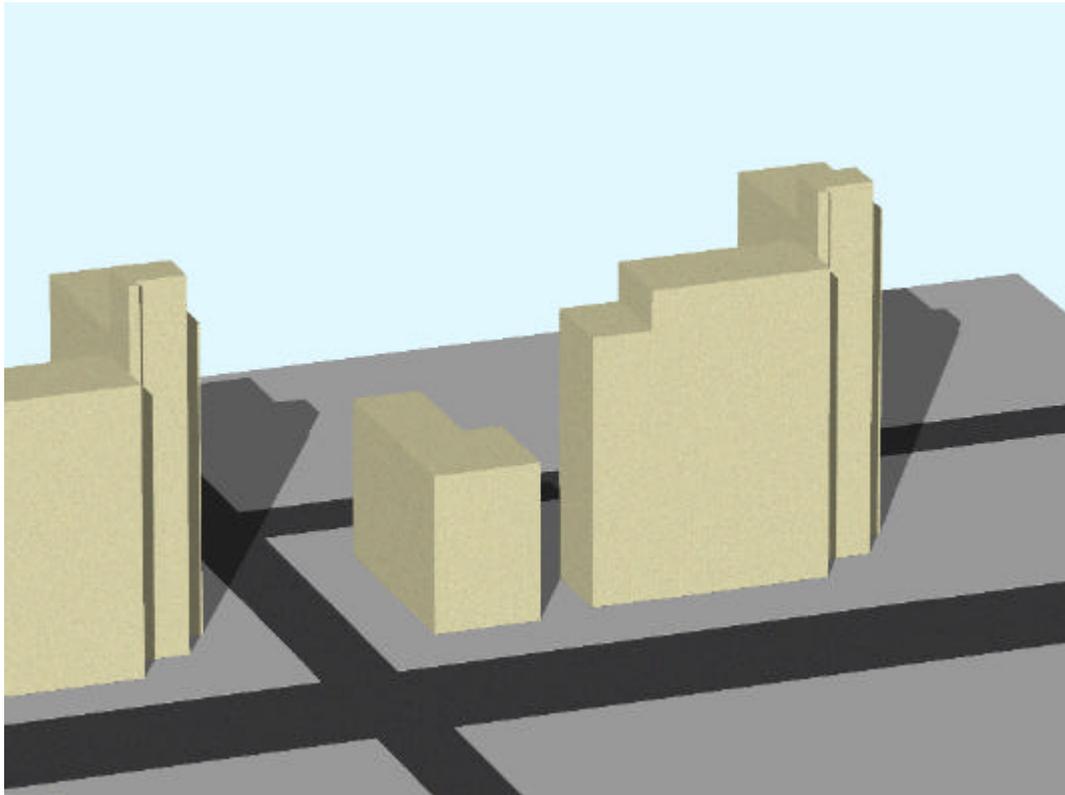
Abb. 5.40 . Visualisierung mit monokristallinen PV-Elementen von Süden



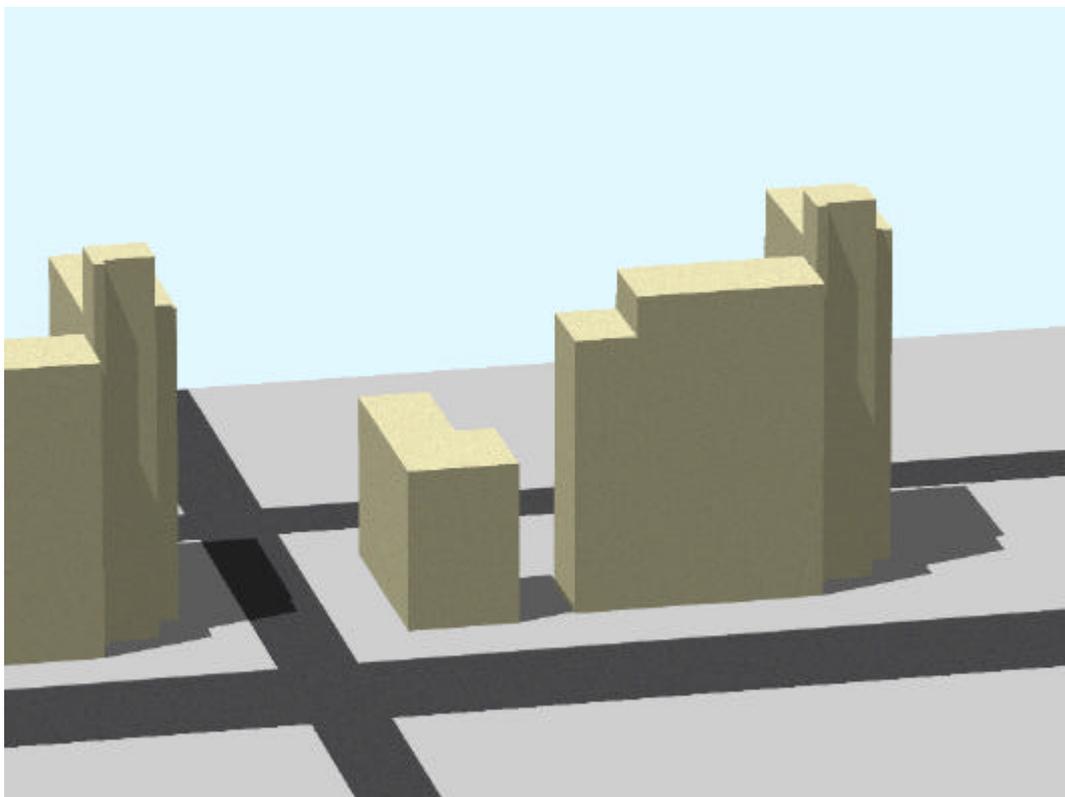
A b b Visualisierung, Südost-Ansicht



A b b Verschattungsstudie, am 21. 03. 12 Uhr



A b b Verschattungsstudie, am 21. 12. 12 Uhr



A b b Verschattungsstudie, am 21.6. 12 Uhr

6 Exemplarische Berechnung der PV-Stromerträge

6.1 Begriff der Energieausbeute

Bei der Planung von PV-Anwendung an Gebäuden müssen in erster Linie, im Sinne einer optimierten Energieausbeute, Ausrichtung und Verschattungsfreiheit der PV-Anlage berücksichtigt werden. Durch die Untersuchung von Gebäudegeometrie, Nachbarbebauung und Topographie soll sichergestellt werden, daß PV-Anlagen so integriert werden, daß im Idealfall von Januar bis Dezember keine Verschattung eintritt. Selbst kleine Teilverschattungen führen zu erheblichen Energieeinbußen [101]. Sie erschweren außerdem die genaue Berechnung der Stromernte im Planungsstadium.

Es gibt auch die Möglichkeit die Stromerträge mit Hilfe von Computerprogrammen, die den Zusammenhang zwischen Zellen-, bzw. Modulverschattung und Stromeinbuße berücksichtigen, bereits in der Planungsphase recht genau zu berechnen [102].

Die in dieser Arbeit untersuchten PV-Anlagen sind unter Berücksichtigung dieser Überlegungen so installiert, daß sie verschattungsfrei sind und keine Nordorientierung aufweisen.

Bei der Berechnung des Energieertrages [29][103][104][105][106] müssen verschiedene Faktoren, welche in Abschnitt 2.3.5 erläutert sind, berücksichtigt werden. Dazu gehören Globalstrahlung, Ausrichtung und Neigungswinkel der Anlage und die Zelltemperatur. Darüber hinaus muß der Systemwirkungsgrad, z.B. durch Berücksichtigung von Leitungsverlust und Wirkungsgrad des Wechselrichters, mit einbezogen werden. Mit solchen Ertragsberechnungen können Architekten, Bauherren und Investoren eine realistische Vorhersage des photovoltaischen Energiegewinns erhalten. Die Ertragsberechnungen wurden mit der folgenden Formel [104] durchgeführt. Mit den Ergebnissen wurde die daraus folgende Reduzierung an CO₂-Emissionen ermittelt.

Berechnungsformel für den jährlichen Solarstromertrag:

$$Q = I \times F \times A \times Wz \times Te \times Lv \times Ww \quad [\text{kWh/m}^2\text{a}]$$

Folgende Faktoren, beeinflussen die Erträge der PV im Einzelnen:

1) I: Örtliches Strahlungsangebot

Für die Energieernte sind die Klimabedingungen, insbesondere die örtliche Sonneneinstrahlung, entscheidend. Die koreanische Globalstrahlung beträgt durchschnittlich

1314 kWh/m² a. (s. Kapitel 4), Um genauer zu rechnen, werden die standortspezifischen Werte von Seoul 1215 kWh/m², An-San 1274 kWh/m² und Chun-Chen 1252 kWh/m² verwendet.

2) F: Ausrichtung- und Winkelfaktor

In der Praxis stehen West- und Ostfassade, neben der idealen Südfassade zum Anbringen von PV-Trägern zur Verfügung. In Abschnitt 2.3.5 wurden die Auswirkungen von verschiedenen Neigungswinkeln und Ausrichtungen untersucht. Tabelle 6.1 zeigt dies für Korea, unter der Annahme, daß der Faktor bei horizontaler Ausrichtung 1 ist.

Tab. 6.1: Faktor der Energieerträge unterschiedlich ausgerichteter Flächen

	0°	30°	90°
West/Ost	1	0,96	0,66
Südwest/Südost	1	1,07	0,75
Süd	1	1,11	0,76

3) A: Die Fläche der Solarzellen

Da die Energieernte der PV-Anlage von der Belegungsdichte der Module pro m² abhängt, wird der Ertrag mit steigender Solarzellenfläche höher. Durch unterschiedliche Belegungsgrade mit Solarzellen ergeben sich auch unterschiedliche PV-Flächen pro m². In dieser Arbeit wird die reine Solarzellenfläche als photovoltaische Fläche in die Berechnungen eingebracht.

4) Wz: Der Wirkungsgrad der Solarzellen

Der Wirkungsgrad der Solarzelle wird bei Standardbedingungen, nämlich bei einer Temperatur von 25° C und AM 1,5 angegeben. In der Praxis werden Herstellerangaben für den Wirkungsgrad der Solarzellen verwendet. In dieser Arbeit wird vereinfacht angenommen: Monokristalline Solarzellen 15 %, polykristalline Solarzellen 13 % und amorphe Solarzellen 6 % (s. Abschnitt 2.3.3). Nicht berücksichtigt ist Verschmutzung der Module.

5) Te: Temperatureinfluß im Betrieb

Die Modultemperatur liegt in der Praxis höher als bei den Standardbedingungen von 25° C. Sie kann bei einer hinterlüfteten Dachintegration bis auf 55° C und bei nicht belüfteter wärmegeämmter Integration an einem sonnigen Sommertag auf über 65° C ansteigen. Bei freistehenden Anlagen liegt sie bei 45° C [106]. Es wird angenommen,

daß die hohe Betriebstemperatur den Wirkungsgrad bei kristallinen Zellen um 0,4 Prozent und bei amorphen Zellen um 0,2 Prozent für jedes Grad Celsius senkt (s. Abschnitt 2.3.5.). Zur Berechnung ist ein Wert von 60° C verwendet worden.

$$\text{Leistungsabsenkung} = (\text{Betriebstemperatur} - \text{Referenztemperatur}) \times \text{Abminderungsfaktor}/^{\circ}\text{C}$$

$$(60^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) \times 0,4\% \text{ bzw. } 0,2\% = 14\% \text{ oder } 7\%$$

6) Lv: Leitungsverlust

Die Leitungsverluste werden hier mit einem Wert von ca. 2 % angenommen [29][104].

7) Ww: Wirkungsgrad des Wechselrichters

Bei Netzverbundsystemen muß der Gleichstrom der PV-Anlage über Wechselrichter, deren Wirkungsgrad im Zuge intensiver Entwicklung stark verbessert worden ist, in Wechselstrom umgewandelt werden. Am deutschen Markt erhältliche Wechselrichter haben einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 93 % [108].

8) Berechnung der Verminderung der CO₂-Emission

Für die Berechnung wird der errechnete Stromertrag mit jeweiligen spezifischen CO₂-Emissionen des Brennstoffes multipliziert [43]. Die spezifischen CO₂-Emissionen der fossilen Brennstoffe, welche im Jahr 1995 in Korea zur Stromerzeugung in Frage kommen [66], sind in Tabelle 6.1 zusammengestellt. In diesem Fall wird ein Kraftwerkswirkungsgrad von 37 % zugrunde gelegt. Bei der Berechnung der durchschnittlichen CO₂ Emission wurden die einzelnen Energieträger gemäß ihrem Anteil am Energiemix gewichtet. Atomenergie und regenerative Energien bleiben hier unberücksichtigt.

Tab. 6.1: Spezifischen CO₂-Emissionen für den koreanischen Energiemix im Jahr 1995

	Anteil	CO ₂ -Emissionen
Kohle	26,4 %	0,918 kg/kWh _{el}
Öl	22,8 %	0,830 kg/kWh _{el}
Erdgas	11,5 %	0,522 kg/kWh _{el}
Kernenergie	39,3 %	0,0 kg/kWh _{el}
Durchschnitt	ca. 0,5 kg/kWh_{el}	

Solarstrom hilft in Korea Spitzenlasten zu reduzieren (siehe Abbildung 3.3, 3.6, 3.8 und 3.9-1). Entsprechend kann eine realistischere Abschätzung der Emissionsreduktion von CO₂ durch PV-Strom mit dem Energiemix der Spitzenlast ermittelt werden. Der Energiemix im Spitzenlastbereich wird mit den insgesamt eingesetzten Anteilen von Öl und Erdgas abgeschätzt (Tab. 6.2). Die folgenden Berechnungen der CO₂-Emissionen für die exemplarisch untersuchten Gebäude basieren auf dieser Annahme.

Tab. 6.2: Spezifischen CO₂-Emissionen im Spitzenlastbereich Korea im Jahr 1995

	Anteil	CO₂-Emissionen
Öl	66,5 %	0,830 kg/kWh _{el}
Erdgas	33,5 %	0,522 kg/kWh _{el}
Durchschnitt	ca. 0,727 kg/kWh_{el}	

6.2 Stromertrag

6.2.1 Bürogebäude, Variante 1 (vgl. Abschnitt 5.2.2)

- 1) Strahlungsangebot des Standortes von An-San : 1 274 kWh/m²a
- 2) Einbaufaktor (Ausrichtung und Einbauwinkel)
 - Südausrichtung, 90° : 0,76
 - Südausrichtung, 30° : 1,11
 - Ost- und Westausrichtung, 90° : 0,66
 - Ost- und Westausrichtung, 30° : 1,07
- 3) Fläche der Solarzellen
 - Südfassade, 90° : 45,7 m²
 - Auf Dachelemente, Südausrichtung, 30 : 41,8 m²
 - Ostfassade, 90° : 76,2 m²
 - Westfassade, 90° : 67,8 m²
 - Auf Dachelemente, Westausrichtung, 30° : 10.1 m²
- 4) Wirkungsgrad der Solarzelle (monokristallin) : 0,15
- 5) Temperatureinfluß im Betrieb (Jahresdurchschnitt) : 0,86
- 6) Leitungsverlust : 0,98
- 7) Wirkungsgrad des Wechselrichters : 0,93

-Ergebnis-

Ausrichtung	Winkel	Stromertrag	Stromertrag / Solarzellenfläche
nach Süden	90°	ca. 5 202 kWh/a	ca. 114 kWh/m ² a
	30°	ca. 6 950 kWh/a	ca. 166 kWh/m ² a
nach Osten	90°	ca. 7 533 kWh/a	ca. 99 kWh/m ² a
nach Westen	90°	ca. 6 547 kWh/a	ca. 97 kWh/m ² a
	30°	ca. 1 619 kWh/a	ca. 160 kWh/m ² a
Summe		ca. 27 851 kWh/a	Durchschnitt: ca. 127 kWh/m²a

- **Spezifischer Stromertrag**, bezogen auf die Bruttogeschosßfläche:

$$27\,851 \text{ kWh/a} / 5\,766 \text{ m}^2 = \text{ca. } 4,8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

8) Verminderung der CO₂-Emission

Die jährliche Einsparung beträgt: $27\,851 \text{ kWh/a} \times 0,727 = \text{ca. } 20\,248 \text{ kg/a}$

Bei einer angenommenen Lebensdauer der PV-Elemente von 30 Jahren ergibt sich eine Gesamteinsparung an CO₂-Emissionen von 607 430 kg.

6,2,2 Verwaltungsgebäude, Variante 1 (vgl. Abschnitt 5.3.2.1)

- 1) Strahlungsangebot des Standortes von Chun-Chen : 1 252 kWh/m²a
- 2) Einbaufaktor (Ausrichtung und Einbauwinkel)
 - Südausrichtung, 90° : 0,76
 - Südausrichtung, 30° : 1,11
 - Südausrichtung, 20° : 1,08
 - Ost- und Westausrichtung, 90° : 0,66
 - Ost- und Westausrichtung, 20° : 1,00
- 3) Fläche der Solarzellen
 - Südausrichtung, 90° : 150,3 m²
 - Südausrichtung, 30° : 101,0 m²
 - Südausrichtung, 20° : 30,3 m²
 - Ost- und Westausrichtung, 90° : 8,8 m²
 - Ost- und Westausrichtung, 20° : 10,4 m²
- 4) Wirkungsgrad der Solarzelle (polykristallin) : 0,13
- 5) Temperatureinfluß im Betrieb (Jahresdurchschnitt) : 0,86
- 6) Leitungsverlust : 0,98
- 7) Wirkungsgrad des Wechselrichters : 0,93

-Ergebnis-

Ausrichtung	Winkel	Stromertrag	Stromertrag / Solarzellenfläche
nach Süden	90°	ca.14 572 kWh/a	ca. 97 kWh/m ² a
	30°	ca.14 302 kWh/a	ca. 142 kWh/m ² a
	20°	ca. 4 175 kWh/a	ca. 138 kWh/m ² a
nach Osten/Westen	90°	ca. 741 kWh/a	ca. 84 kWh/m ² a
	20°	ca. 1 327 kWh/a	ca. 128 kWh/m ² a
Summe		ca. 35 117,0 kWh/a	Durchschnitt: ca.118 kWh/m²a

- **Spezifischer Stromertrag**, bezogen auf die Bruttogeschoßfläche:

$$35\,117\text{ kWh/a} / 2\,229\text{ m}^2 = \text{ca. } 15,8\text{ kWh/m}^2\text{a}$$

8) Verminderung der CO₂-Emission

Die jährliche Einsparung beträgt: 35 117 kWh/a x 0,727 = ca. 25 530 kg/a

Bei einer angenommenen Lebensdauer der PV-Elemente von 30 Jahren ergibt sich eine Gesamteinsparung an CO₂-Emissionen von 765 902 kg.

6.2.3 Verwaltungsgebäude, Variante 2 (vgl. Abschnitt 5.3.2.2)

- 1) Strahlungsangebot des Standortes von Chun-Chen : 1 252 kWh/m²a
- 2) Einbaufaktor (Ausrichtung und Einbauwinkel)
 - Südausrichtung, 90° : 0,76
 - Südausrichtung, 30° : 1,11
 - Südausrichtung, 20° : 1,08
 - Ost- und Westausrichtung, 90° : 0,66
 - Ost- und Westausrichtung, 20° : 1,00
- 3) Fläche der Solarzellen
 - Südausrichtung, 90° : 4,4 m²
 - Südausrichtung, 30° (incl. bewegl. Elemente) : 143,0 m²
 - Südausrichtung, 20° : 30,3 m²
 - Ost- und Westausrichtung, 90° : 8,8 m²
 - Ost- und Westausrichtung, 20° : 10,4 m²
- 4) Wirkungsgrad der Solarzelle (polykristallin) : 0,13
- 5) Temperatureinfluß im Betrieb (Jahresdurchschnitt) : 0,86

- 6) Leitungsverlust : 0,98
 7) Wirkungsgrad des Wechselrichters : 0,93

-Ergebnis-

Ausrichtung	Winkel	Stromertrag	Stromertrag / Solarzellenfläche
nach Süden	90°	ca. 427 kWh/a	ca. 97 kWh/m ² a
	30°	ca. 20 251 kWh/a	ca. 142 kWh/m ² a
	20°	ca. 4 174 kWh/a	ca. 138 kWh/m ² a
nach Osten/Westen	90°	ca. 741 kWh/a	ca. 84 kWh/m ² a
	20°	ca. 1 327 kWh/a	ca. 128 kWh/m ² a
Summe		ca. 26 920,0 kWh/a	Durchschnitt: ca. 118 kWh/m²a

- **Spezifischer Stromertrag**, bezogen auf die Bruttogeschoßfläche:

$$26\,920 \text{ kWh/a} / 2\,229 \text{ m}^2 = \text{ca. } 12,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

- 8) Verminderung der CO₂-Emission

Die jährliche Einsparung beträgt: 26 920 kWh/a x 0,727 = ca. 19 571 kg/a

Bei einer angenommenen Lebensdauer der PV-Elemente von 30 Jahren ergibt sich eine Gesamteinsparung an CO₂-Emissionen von 587 125 kg.

6.2.4 Verwaltungsgebäude, Variante 3 (vgl. Abschnitt 5.3.2.3)

- 1) Strahlungsangebot des Standortes von Chun-Chen : 1 252 kWh/m²a
 2) Einbaufaktor (Ausrichtung und Einbauwinkel)
- Südausrichtung, zur Sonnenhöhe nachgeführt : 1,60ⁱ
 - Südausrichtung, 90° : 0,76
 - Südausrichtung, 20° : 1,08
 - Ost- und Westausrichtung, 90° : 0,66
 - Ost- und Westausrichtung, 20° : 1,00

ⁱ In [80] wird die durchschnittliche Jahressumme der Einstrahlung auf eine horizontale Fläche und eine einachsige dem Sonnenhöhenwinkel nachgeführte Fläche beschrieben. Der Faktor 1,6 wurde mit diesen Daten ermittelt.

3) Fläche der Solarzellen

- Südausrichtung, zur Sonnehöhe nachgeführt : 52,8 m²
- Südausrichtung, 90° : 116 m²
- Südausrichtung, 20° : 30,3 m²
- Ost- und Westausrichtung, 90° : 8,8 m²
- Ost- und Westausrichtung, 20° : 10,4 m²

4) Wirkungsgrad der Solarzelle (polykristallin) : 0,13

5) Temperatureinfluß im Betrieb (Jahresdurchschnitt) : 0,86

6) Leitungsverlust : 0,98

7) Wirkungsgrad des Wechselrichters : 0,93

-Ergebnis-

Ausrichtung	Winkel	Stromertrag	Stromertrag / Solarzellenfläche
Zur S.h. nachgef.		ca. 15 089 kWh/a	ca. 286 kWh/m ² a ⁱ
nach Süden	90°	ca. 11 247 kWh/a	ca. 97 kWh/m ² a
	20°	ca. 4 174 kWh/a	ca. 138 kWh/m ² a
nach Osten/Westen	90°	ca. 741 kWh/a	ca. 84 kWh/m ² a
	20°	ca. 1 327 kWh/a	ca. 128 kWh/m ² a
Summe		ca. 32 578,0 kWh/a	Durchschnitt: ca.147 kWh/m²a

- **Spezifischer Stromertrag**, bezogen auf die Bruttogeschoßfläche:

$$32\,578 \text{ kWh/a} / 2\,229 \text{ m}^2 = \text{ca. } 14,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

8) Verminderung der CO₂-Emission

Die jährliche Einsparung beträgt: 32 578 kWh/a x 0,727 = ca. 23 684 kg/a

Bei einer angenommenen Lebensdauer der PV-Elemente von 30 Jahren ergibt sich eine Gesamteinsparung an CO₂-Emissionen von 710 526 kg

ⁱ Der Konzentrationsfaktor für die Solarente der HOE-Elemente mit PV wurde mit 1,4 angesetzt (siehe Abschnitt 2.4.5).

6.2.5 Apartmentgebäude, Variante 1 (vgl. Abschnitt 5.4.2.1)

1) Strahlungsangebot des Standortes von Seoul	: 1 215 kWh/m ² a
2) Einbaufaktor (Ausrichtung und Einbauwinkel)	
-Horizontalfäche	: 1,00
-Südausrichtung, 30°	: 1,11
-Südost- und Südwestausrichtung, 90°	: 0,76
-Südwestausrichtung, 60°	: 0,94
45° und 30°	: 1,07
10°	: 1,03
3) Fläche der Solarzellen	
-Horizontalfäche	: 46,8 m ²
-Südausrichtung, 30°	: 46,02 m ²
-Südost- und Südwestausrichtung, 90°	: 304,86 m ²
-Südwestausrichtung, 60°	: 11,7 m ²
45° und 30°	: 85,8 m ²
10°	: 11,7 m ²
4) Wirkungsgrad der Solarzelle (monokristallin)	: 0,15
5) Temperatureinfluß im Betrieb (Jahresdurchschnitt)	: 0,86
6) Leitungsverlust	: 0,98
7) Wirkungsgrad des Wechselrichters	: 0,93

-Ergebnis-

Ausrichtung	Winkel	Stromertrag	Stromertrag / Solarzellenfläche
Horizontalfäche	90°	ca. 6 883 kWh/a	ca. 147 kWh/m ² a
nach Süden	30°	ca. 7 294 kWh/a	ca. 159 kWh/m ² a
nach SO und SW	90°	ca. 33 097 kWh/a	ca. 109 kWh/m ² a
	60°	ca. 1 571 kWh/a	ca. 134 kWh/m ² a
nach Südwesten	45°/30°	ca. 13 114 kWh/a	ca. 153 kWh/m ² a
	10°	ca. 1 721 kWh/a	ca. 147 kWh/m ² a
Summe		ca. 63 680,0 kWh/a	Durchschnitt: ca.142 kWh/m²a

- **Spezifischer Stromertrag**, bezogen auf die Bruttogeschoßfläche:

$$63\,680 \text{ kWh/a} / 9\,491 \text{ m}^2 = \text{ca. } 6,7 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

8) Verminderung der CO₂-Emission

Die jährliche Einsparung beträgt: 63 680 kWh/a x 0,727 = ca. 46 295 kg/a

Bei einer angenommenen Lebensdauer der PV-Elemente von 30 Jahren ergibt sich eine Gesamteinsparung an CO₂-Emissionen von ca. 1 388 861 kg.

6.3 Berechnung der möglichen PV-Stromerträge bei Wohngebäuden

Die bisherigen Berechnungen mit Beispielgebäuden zeigen einen durchschnittlichen Stromertrag der installierten Fläche von ca. 130 kWh/m²a in Südkorea. Bei der Berücksichtigung von Verschmutzung und nicht immer optimalen Einbaubedingungen wird dieser Wert für die folgende Berechnung auf 110 kWh/m²a reduziert (ca. 15%). Mit diesem Ergebnis kann eine grobe Abschätzung des gesamten Stromertrags für die Integration von PV an allen Wohngebäuden in Korea berechnet werden. Dabei wird die folgende Formel verwendet:

$$Q_g = E \times \sum_i (H_i \times A_i \times H_{v_i})$$

Im einzelnen bedeuten:

1) E: Der Stromertrag der PV-Fläche wie oben beschrieben, hier: 110 kWh/m²a.

2) H: Die Anzahl der Wohnungen

Nach der Statistik des koreanischen statistischen Amtes erreicht die Wohnungszahl in verschiedenen Gebäudetypen im Jahr 1995 folgende Werte (Tabelle 6.3).

Tab. 6.3: Anzahl der Wohnung in unterschiedlichen Gebäudetypen im Jahr 1995
[108]

Klassifikation	Anzahl	
Wohnhäuser	9 204 929	100%
Einfamilienhäuser	4 337 105	ca. 47%
Apartements	3 454 508	ca. 38%
Reihenhäuser	734 172	ca. 8%
Mehrfamilienhäuser	336 356	ca. 4%
Wohnungen in Nicht- Wohngeäuden	342 788	ca. 4%
Keine Wohnge	48 438	
Wohnungen in Büro- und Geschäftsgebäuden.	6 255	
Hotel u.ä.	2 701	
Wohnheime	5 950	
Sonstige	33 532	
Gesamtsumme Wohnungen	9 253 367	

In die Berechnung gehen die drei fett gedruckten Hauptgebäudetypen, also Einfamilienhäuser, Apartmenthäuser und Reihenhäuser ein, die über 90% der koreanischen Wohnungen ausmachen.

3) A: Mögliche Fläche zur PV-Integration in jeder Wohnung [m²]

Die Daten zur Bestimmung dieser Fläche beziehen sich auf eine Studie [109], in welcher eine Umfrage zur Nutzung der Sonnenenergie durchgeführt wurde.

Tab. 6.3: Mögliche Integrationsfläche bei jeder Wohnung in Korea [109]

Haustyp	mögliche Integrationsfläche			
	Gesamt	Dach	Balkon	Außerhalb des Gebäudes
Einfamilienhaus	70 m ²	43 m² (62 %)	5,8 m² (8,3 %)	21 m ² (29,7 %)
Appartement	8,2 m ²	0,6 m² (7,3 %)	7,2 m² (88 %)	0,2 m ² (4,9 %)
Reihenhaus	25,5 m ²	12,5 m² (49 %)	5,9 m² (23 %)	7,0 m ² (29 %)

Für die folgende Abschätzung wurde nur die mögliche Integrationsfläche an Gebäuden berücksichtigt.

4) Hv: Anteil der Nutzung von Sonnenenergie an Wohngebäuden in Bezug auf die zur Verfügung stehende Fläche [%]

Nach der oben genannten Umfrage würden die Bewohner von Einfamilienhäusern 75 Prozent, die Bewohner von Apartmenthäusern 17,2 Prozent und die Bewohner von Reihenhäusern 7,3 Prozent der maximal möglichen Integrationsfläche für Solarenergienutzung zur Verfügung stellen, was in der Berechnung berücksichtigt wird.

-Berechnung-

$$\text{Einfamilienhaus: } 110 \text{ kWh/m}^2\text{a} \times 4.337.105 \times (43+5,8) \text{ m}^2 \times 0,75 = 17.461.185 \text{ MWh/a}$$

$$\text{APT : } 110 \text{ kWh/m}^2\text{a} \times 3.454.508 \times (0,6+7,2) \text{ m}^2 \times 0,17 = 503.875 \text{ MWh/a}$$

$$\text{Reihenhaus: } 110 \text{ kWh/m}^2\text{a} \times 734.172 \times (12,5+5,9) \text{ m}^2 \times 0,07 = 104.017 \text{ MWh/a}$$

Stromertrag gesamt 18.069.077 MWh/a

Der berechnete PV-Stromertrag entspricht rein rechnerisch ca. 64 % des Stromverbrauches in koreanischen Wohngebäuden, der im Jahr 1995 28.303 GWh erreichte [66]. Praktisch kann die PV diese Stromsubstitution in Wohnungsbau, schon wegen des nächtlichen Bedarfs nicht erreichen. Durch die Netzkopplung kann der PV-Ertrag allerdings voll genutzt werden.

7 Ausblick und weiteres Vorgehen

Das weltweite Wachstum des Photovoltaik-Marktes ist in letzten 10 Jahren ungebrochen. Mit einer jährlichen Steigerungsrate der Produktion von rd. 15 % erreichte der Umsatz des Photovoltaiksektors im Jahr 1995 eine Milliarde Dollar [110]. Abbildung 7.1 zeigt deutlich die Ausweitung der Produktion zwischen 1980 und 1997. Alleine in den Jahren 1993 bis 1997 ist der PV-Markt um über 200 % gewachsen.

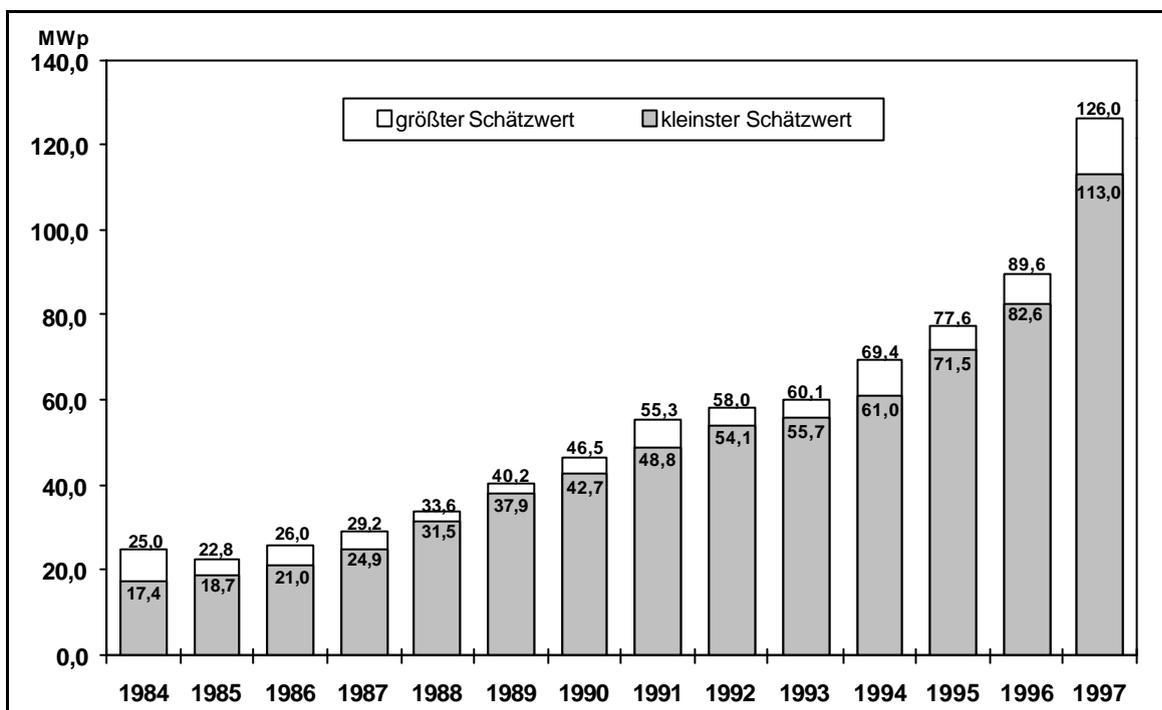


Abb.7.1: jährliche Photovoltaik-Produktion, weltweit, zwischen 1984 und 1997 [111][112]

Obwohl mit wachsender Erfahrungen durch zahlreiche Forschungs- und Demonstrationsprogramme die gesamten Anlagekosten stark reduziert werden konnten, ist der PV-Preis heute noch relativ hoch. Dies liegt in erster Linie daran, daß die bisher nachgefragte Produktionsmenge zu gering ist, um die Produktion von Solarzellen nachhaltig zu automatisieren und damit billiger zu produzieren. Dies bedeutet darüber hinaus, daß der in den letzten Jahren entwickelte Preis die jeweilig nachgefragte Produktionsmenge widerspiegelt. Ein entscheidender Faktor für eine zukünftige Kostensenkung besteht darin, die Nachfrage deutlich zu erhöhen, um über große Mengen produzierter Zellen durch Automatisierung mit Prozeßoptimierung eine erheblich preiswertere Produktion zu ermöglichen. Der internationale Markt für PV-Zellen ist dabei breitgefächert genug, um den für eine Preissenkung notwendigen Wettbewerb sicherzustellen. Am

PV-Sektor muß generell sehr positiv bewertet werden, daß die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten weiter intensiviert worden sind und die weltweite Nachfrage nach Photovoltaik seit einigen Jahren stark zugenommen hat. Nach verschiedenen Studien [113][114][115] ist heute schon vorauszusehen, daß die Dünnschichttechnologien in Zukunft wegen der deutlichen Materialersparnis und des vereinfachten Produktionsprozesses einen großflächigen PV-Einsatz mit günstigen Kosten ermöglichen werden. Dabei rechnet man bei einer angenommenen Nachfrage von 60 MWp/a, mit einem PV-Preis von unter 1 DM/Wp für netzgekoppelte Systeme. Die Stromgestehungskosten liegen dann etwa bei 30 Pf/kWh. Das entspricht einem Fünftel des heutigen Preises. Die vorsichtige Marktabschätzung nach der Altener-Studie "Photovoltaics in 2010" sagt, daß bei gleichbleibender Wachstumsrate von 15 Prozent genau wie in den letzten 10 Jahren bis zum Jahr 2010 ein jährlicher Modul-Verkauf von 630 MW erreicht würde. In diesem Fall wird die gesamte installierte PV-Leistung ca. 4000 MWp betragen [116][117]. Die Zielsetzung der Europäischen Union ist ein Wachstum von jährlich 30 Prozent. Inzwischen wird die Stromerzeugung mittels Photovoltaik in verschiedenen Ländern mit staatlicher Unterstützung durch umfangreiche Förder- und Demonstrationsprogramme verstärkt. In diesem Zusammenhang befassen sich auch internationale Konzerne zunehmend mit diesem Thema.

Die koreanische Photovoltaik-Technologie, die erst im Jahr 1980 wirklich in Angriff genommen wurde, ist zur Zeit noch nicht in der Lage, kommerzielle Solarzellen zu produzieren. Jedoch sind im Rahmen von Forschungs- und Demonstrationsvorhaben PV-Anwendungen mit der verfügbaren Basistechnik realisiert worden.

Die PV-Nutzung befindet sich in Korea mit einer installierten Leistung von ca 2 475 kWp im Jahr 1997 in der Initialisierungsphase. Die gesamte Produktion betrug Ende 1997 nur 370 kWp. Die bisherige Anwendung diente hauptsächlich der Stromversorgung im Telekommunikationsbereich [80][118]. Durch die Gesetzgebung für die Entwicklung erneuerbarer Energiequellen, welche nach der internationalen Klimaschutzkonvention zu weiterem Wirtschaftswachstum führen soll, wurden die Forschung und Anwendung dieser Technologie intensiviert. Dieses Gesetz hat das Ziel, den Anteil erneuerbarer Energienutzungen bis zum Jahr 2006 auf 2 Prozent des Energieverbrauchs zu erhöhen [118]. Dieser Anteil betrug im Jahr 1995 etwa 0,6 Prozent [119]. Der weltweite Anteil der PV an der künftigen Stromversorgung wird auf 4 bis 8,5 Prozent geschätzt [120].

Die Nutzung der PV-Technologie ist heute international als wichtige Option für eine langfristige saubere Energieversorgung anerkannt. Sie verbreitet sich in vielen Ländern durch technische Weiterentwicklung der Fertigung und der Anwendungssysteme, sowie durch öffentliche Förderprogramme. Diese Voraussetzungen für die PV-Anwendung fehlen in Südkorea heute noch weitgehend

Um die photovoltaische Solarenergienutzung zur Substitution elektrischer Energie aus fossilen Brennstoffen und Kernenergie in Südkorea in Zukunft besser zu nutzen, ist es notwendig, die folgenden Aspekte zu berücksichtigen:

- Die Intensivierung der Forschung und Entwicklung von PV-High-Tech, um durch Verbreitung von Know How in der Gesellschaft eine positive und ausgedehnte Akzeptanz der PV zu erzielen.
- Die zügige Auswertung der umfassenden Erfahrungen im Rahmen der PV-Demonstrationsprogramme, die von der Regierung großzügig finanziell unterstützt werden müssen.
- Die Entwicklung der Kompatibilität zwischen den konventionellen Bauelementen und den PV-Elementen unter Berücksichtigung der koreanischen Bauordnung.
- Die weitere Standardisierung von PV-Modulen als Bauelemente.
- Es ist notwendig, das Betriebsergebnis der PV-Anlagen unter den koreanischen Klimabedingungen zu bewerten und zu analysieren.
- Da die Photovoltaik eine neue, zukunftsorientierte Technologie darstellt, besteht bei der Gebäudeanwendung großes Entwicklungspotential. Die Umsetzung dieses Potentials muß von Architekten, Ingenieuren und Technikern geleistet werden. Hierzu ist eine gezielte Aus- und Weiterbildung erforderlich.

8 Schlußfolgerungen

Aus dem weltweit steigenden Verbrauch an Energie, verursacht die durch die Anhebung des Lebensstandards in weiten Teilen der Erde, resultieren zum einen Konflikte durch die Begrenzung der Ressourcen und zum anderen das Umweltproblem der CO₂-Emission.

Der koreanische Energieverbrauch zeigt durch die Industrialisierung des Landes einen starken Zuwachs. Aufgrund der bequemen Nutzung und Sauberkeit - von der Verbrauchsseite gesehen - wird der elektrische Strom in der ganzen Gesellschaft in großen Mengen verbraucht. Besonders stark auf den Stromverbrauch wirken sich die zahlreichen Klimaanlage aus, welche bei den sommerlichen Klimaverhältnissen kaum verzichtbar erscheinen (Abb. 3.3). Die Nutzung der unbegrenzten und umweltschonenden Sonnenenergie mittels PV beinhaltet unter diesen Gesichtspunkten eine vielversprechende Option für die Zukunft.

Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der Anwendbarkeit der PV an Gebäuden in Korea unter Berücksichtigung architektonischer Gesichtspunkte. Die Nutzung der PV-Technologie ist an Gebäuden in Anbetracht der topographischen Lage mit begrenzter Nutzungsfläche in Korea besonders sinnvoll, weil die normalerweise benötigte PV-Stellfläche durch die Integration an und in vorhandenen Gebäudehüllen entfallen kann.

Die Ergebnisse vorliegender Arbeit werden wie folgt zusammengefaßt:

- (1) Während der koreanische Stromverbrauch überdurchschnittlich anwächst, stellt sich der jährliche Verbrauch aufgrund zunehmender Kühllast im Sommer deutlich höher als im Winter dar. Zugleich erreicht die Sonneneinstrahlung in Korea im Sommer hohe Werte (23% höher als im Durchschnitt). Das bedeutet, daß die PV-Nutzung zur Stromerzeugung durch Übereinstimmung zwischen dem Strombedarf und dem Strahlungsangebot zu einer besseren Versorgungssicherheit beitragen kann.
- (2) Die allgemeinen Klimabedingungen sind in Korea durch den hohen Anteil der direkten Einstrahlung (Anteil im jährlichen Durchschnitt: 53 %) für PV-Nutzung gut geeignet. Die höchste ganzjährige Ausbeute erreicht man bei der Ausrichtung nach Süden und einer Neigung von 32°.

- (3) Die Vergleichsanalyse der Klimabedingungen von Deutschland und Südkorea hat gezeigt, daß das koreanische Strahlungsangebot um 25% höher liegt als in Deutschland und die zeitliche Verteilung des Strombedarfs in Korea ganz anders als in Deutschland in etwa mit den Bedarfsspitzen im koreanischen Sommer übereinstimmt.
- (4) Bei der Anwendung an Gebäuden in Korea erhalten die um 32° nach Süden geneigten Flächen, wie Dach oder Fassade, eine maximale Sonneneinstrahlung. Es ist auch möglich, die PV-Module in nicht beschatteten Gebäudehüllflächen, die sich nach Osten und Westen orientieren, anzubringen.
- (5) Der höchste spezifische Stromertrag läßt sich mit konzentrierenden HOE und gekoppelten Solarzellen erreichen, die in Kapitel 5 als Sonnenschutzelement verwendet werden.
- (6) In der Anfangsphase der Gebäudeanwendung der PV sind die Büro-, Verwaltungs- und Geschäftsgebäude besonders gut geeignet. Hier stehen große Integrationsflächen zur Verfügung und die PV-Anwendung ist in Hinsicht auf Wirtschaftlichkeit, Gebäudegestaltung und nicht zuletzt den Werbeeffekt besonders wirksam.
- (7) Die PV-Integration an Gebäuden ermöglicht eine neue Darstellung des individuellen Erscheinungsbildes und ist aufgrund der sauberen Stromerzeugung ohne jede Umweltbelastung ökologisch besonders sinnvoll.
- (8) Die PV-Module als Gestaltungselemente lassen den Architekten die Möglichkeit offen, durch anspruchsvolle Gebäude-Integration nach neuer architektonischer Ästhetik zu streben.
- (9) Die Integrationskosten der PV-Anlagen werden gemindert, da konventionelle Bauelemente durch Substituierung mit PV-Modulen entfallen.
- (10) Aufgrund enger Besiedlung und guter elektrischer Vernetzung in Korea ist es effektiver, die PV-Anlagen mit netzgekoppelten Systemen zu betreiben. Damit kann die kostenintensive, komplizierte und umweltschädliche Verwendung von Akkumulatoren vermieden werden.
- (11) Durch die exemplarische Berechnung von Stromerträgen ist zu erkennen, daß die PV einen wesentlichen Beitrag zur Stromerzeugung und gleichzeitig zur Abminderung der CO₂-Emission leisten kann, wenn sie großflächig in koreanischen Gebäuden installiert wird.
- (12) Die fotorealistische Visualisierung zeigt den Zusammenhang zwischen der Farbe der Solarzellen und der Architektur deutlich. Im allgemeinen erscheint es nicht

günstig, verschiedenfarbige Solarzellen an einem Gebäude zu verwenden. Die beste Akzeptanz liegt bei bläulichen polykristallinen Solarzellen und den vergleichbaren dunkelgrauen bzw. -braunen amorphen Zellen.

- (13) Der heute im Vergleich zu anderen Energieträgern noch hohe Preis der Photovoltaik fällt weniger ins Gewicht, wenn er mit architektonisch aufwendigen Fassadenbekleidungen (z.B. Naturstein, Glas, Metall) verglichen wird. So betrachtet kann die Photovoltaik bei architektonisch anspruchsvoller Anwendung ohne nennenswerte Mehrkosten einen Beitrag zur ästhetischen und ökologischen Umweltgestaltung leisten.

Literaturverzeichnis, Quellennachweis

- [1] Deutscher Bundestag: Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz; Schlußbericht der Enquete – Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages. Economica Verl., Bonn, 1995, S. 112ff.
- [2] IEA: World Energy Statistics and Balances 1994.
- [3] Mauch, W.: Ganzheitliche Bilanzierung der Bereitstellung von Brennstoffen. In: VDI-Berichte 1328. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 1997, S.56.
- [4] Lewin, B.: CO₂ –Emission von Energiesystemen zur Stromerzeugung unter Berücksichtigung der Energiewandlungsketten. Berlin, Techn. Univ. Diss., 1993.
- [5] Houghton, J.: Globale Erwärmung. Springer-Verlag, Heidelberg, 1997.
- [6] Bauer, A.: Der Treibhauseffekt. J. C. B. Mohr, Tübingen, 1993.
- [7] Seifritz, W.: Der Treibhauseffekt. Carl Hanser Verlag, München, 1991.
- [8] Technik & Wirtschaft, Nr.41, S.19.
- [9] Joongang Tageszeitung: 01.12.1997.
- [10] Samoo Architects: Entwurfskriterien zum Energiesparen des Bürogebäudes, Seoul, 1994.
- [11] Korea Institute of Energy Research: Study of Direct Beam Solar Radiation and Development of Engineering Insolation Data in Korea (IV). Dae-jen, 1995.
- [12] Müller, H. F. O.: Architektur und Photovoltaik. In: Der Architekt, 2/98, S. 123.
- [13] von Busse, H. B.; Müller, H. F. O.; Runkel, S.: Photovoltaics - Integration of a new Technology in Architecture. University of Dortmund, 1996, S. 8, 18.
- [14] Hadamovsky, H.-F.; Jonas, D.: Solastrom – Solarwärme: Technik der Photovoltaik und Solarthermie. Vogel Buchverlag, Würzburg, 1996, S. 16, 21, 27, 38, 42, 52, 59, 95.
- [15] Schlaich, J. und S.: Erneuerbare Energien nutzen. Werner-Verlag, Düsseldorf, 1991, 12.
- [16] Korean Solar Energy Society: Handbuch of Solar Energy. Tae-Lim Verlag, Seoul, 1991, S. 4, 74-99.
- [17] DLZ: Forschungsbericht 96 – 32. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Köln, 1997.
- [18] Marko, A.; Braun, P.: Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden. Springer-Verlag, Berlin, 1997, S. 4.
- [19] Recknagel, H.; Sprenger, E.; Hönmann, W.: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. R. Oldenbourg Verlag GmbH, München, 1994.

- [20] Winter C.-J.: Die Energie der Zukunft heißt Sonnenenergie. Th. Knauer Nachf., München, 1995, S. 207.
- [21] Schramek, E.-R.: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. R. Oldenbourg Verlag, München, 1995, S. 28.
- [22] Krieg, B.: Strom aus der Sonne: Solartechnik in Theorie und Praxis. Elektor-Verlag, Aachen, 1992, S. 23, 65.
- [23] RWE: RWE Energie Bau Handbuch, 11. Ausgabe. Energie-Verlag, Heidelberg, 1993, 17/3-5.
- [24] Raudszus F., Schmitz R., Rupp L., Das Sonnenenergie Buch, Sybex-Verlag GmbH, D'dorf, 1992.
- [25] Brockmeier, H.: Die Sonnenenergie und ihre Nutzung in experimenteller Darstellung. Aulus Verlag Deubner & co KG, Köln, 1993, S. 32.
- [26] Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Informationszentrum für Energiefragen: Erneuerbare Energie, Mauer Druck und Verlag, Geislingen, S. 26.
- [27] Wilk, H.: Solarstrom, Handbuch zur Planung und Ausführung von Photovoltaikanlagen. Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE GmbH, Gleisdorf, 1995, S. 10, 14, 16, 23, 24, 26, 29, 30.
- [28] Staiß F., Photovoltaik, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1996, S. 12, 15, 18, 24.
- [29] Ladener, H.: Solare Stromversorgung – Grundlage, Planung, Anwendung. ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1996, S. 29, 33.
- [30] HEA: Regenerative Energien – Technik, Daten, Zahlen, Fakten. Energie Verlag GmbH, 1998, S. 85.
- [31] Maycock, P. D.: PV-News, Vol. 14, No 2, February 1995, Casanova, Va, USA.
- [32] Schmied, J.: Photovoltaik- Strom aus der Sonne, 3 Auflage, C.F. Müller, Heidelberg, 1994, S. 23.
- [33] Lewerenz H.J., Jung B., Photovoltaik-Grundlagen und Anwendungen, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1995.
- [34] Leuchtner, J.,; Boeckstiegel, C.: Photovoltaik - Marktübersicht, Öko - Institut e. V., Freiburg, 1991, S. 5.
- [35] Cobarg, C.C.: Sonnenkraft, Frech-Verlag, Stuttgart, 1988.
- [36] Köhte, H. K.: Stromversorgung mit Solarzellen, Franzis-Verlag GmbH, Pöing, 1994, S. 23, 51.
- [37] PILKINGTON: Informationsprospekt. Pilkington Solar International, 1996.
- [38] NUKEM: Photovoltaik – Informationsmappe. Nukem GmbH, 1993.

- [39] Benemann, J.; Chehab, O.: Fassadenintegrierte Photovoltaik. In: Müller, H. (Hg): Innovative Fassadentechnologie. Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln, 1994, S. 87.
- [40] SCHÜCO: Informationsprospekt. Schüco International, 1996.
- [41] Weber, H.: Photovoltaik in Gebäuden – architektonische, bautechnische und funktionale Integration. Institut für Industrialisierung des Bauens, Hannover, 1994.
- [42] Goethe, R.: Photovoltaik-Fassaden erzeugen Strom aus Sonnenlicht. Industriebau 2, 1993, S. 128-132.
- [43] Schade, D.: Energiebedarf- Energiebereitstellung- Energienutzung. Springer Verlag, Berlin, 1995, S. 100, 164.
- [44] Sonnenenergie & Wärmetechnik, 1/94.
- [45] Müller, H.: Photovoltaik in Gebäuden – Dokumentation von studentischen Arbeiten im WS 1993/94. Lehrstuhl Klimagerechte Architektur an der Universität Dortmund, 1994.
- [46] Humm, O.; Toggweiler, P.: Photovoltaik in Architektur. Berlin 1993.
- [47] Sediadi, Eka: Die aktive Sonnenenergienutzung in Jakarta, Indonesien. Dissertation, Uni. Hannover, 1996.
- [48] NEWTEC: Informationsprospekt. Newtec Kunststofftechnik, 1994.
- [49] SOLUTION: Shadovoltaic- Informationsprospekt. Solution AG für Solartechnik, 1994.
- [50] SIEMENS: Informationsmappe - Photovoltaik System, Komponenten für Gebäude, Siemens Gebäudetechnik, 1996.
- [51] RWE: RWE-Energie – Private Photovoltaik-Stromerzeugungsanlagen im Netzparallelbetrieb. RWE Energie Aktiengesellschaft, 1991, S. 26.
- [52] Vaaßen, W.: Technische Aspekte bei der Nutzung von Sonnenenergie durch PV-Fassaden. In: Beinhauer; Benemann; Gutjahr; Müller : Fassaden der Zukunft – Mit der Sonne leben. Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln, 1992, S. 287.
- [53] Müller, H.: Lichtlenkung mit Hologrammen. In: Beinhauer; Benemann; Gutjahr; (Hg.) Fassaden der Zukunft – Mit der Sonne leben. Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln, 1992, S. 175, 179.
- [54] Gutjahr, J.: Verschattungsvorrichtung mit holographisch optischen Elementen (HOE). In: Müller, H. (Hg.) Innovative Fassadentechnologie. Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln, 1994, S. 171.

- [55] Müller, H. F. O.: Holografisch – optische Elemente. In: Arch+, Solar Architektur, 126, April 95, S. 56-59.
- [56] Müller, H. F. O. : Einsatz und Erprobung holografisch-optischer Elemente für die Tageslichtlenkung, Fassaden mit lichtlenkenden Hologrammen. In: Müller, H. (Hg.) Innovative Fassadentechnologie. Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln, 1994, S. 211, 219.
- [57] Kischkoweit-Lopin, M., Müller, H. F. O.: New Daylighting Systems. In: Proceedings of „Passiv and Low Energy Architecture“, Kuschiro, Japan, 1997.
- [58] Kischkoweit-Lopin, M.: New Dystems for Better Daylight Utilization. In: Proceedings of „ Solar Energy in Architecture and Urban Planning“, Berlin, 1996.
- [59] Müller, H. F. O.: Application of Holographic Optical Elements in Buildings for Various Purposes Like Daylighting, Solar Shading, and Photovoltaic Power Generation. In: Proceedings of „Renewable Energy“, Vol. 5 part II, pp. 935-941, 1994.
- [60] Müller, H. F. O.: Tageslichtsimulation und Berechnungsmethoden, Holografisch-optische Elemente. In: Tagungsband von „Innovative Lichttechnik in Gebäuden“, Graz, 1996.
- [61] Müller, H. F. O.: Systeme zur Lichtlenkung. db 6/96, S. 114-120.
- [62] Müller, H. F. O.: Das Leben kommt vom Sonnenlicht-optimierte Tagesbeleuchtung in Raum. AIT, 12/98.
- [63] Müller, H.; Kischkoweit-Lopin, M.: Architektur auf der Sonnenspur. Eine Untersuchung im Auftrag der Hamburgische Elektrizitäts-Werke AG, 1997, S. 14.
- [64] Moon, G. J.: Air Pollution and Energy Politics. In: Korea Energy Council (Hg.) Energy Industry and Politics, Seoul, 1996, S. 188.
- [65] World Energy Council: Energy for Tomorrow's World, The Realities, The Real Options and Agenda for Archivement, 1994.
- [66] Ministry of Trade, Industry and Energy; Korea Energy Economics Institute: Earbook of Energy Statistics, Seoul, 1996.
- [67] Dongailbo Tageszeitung: MIDAS DONG-A ILBO. <http://www.dongailbo.co.kr>
- [68] Chosun Tageszeitung: 09.01.1998.
- [69] Hyun, B. G.: Energy and Raw Materials. Seoul National University, Seoul, 1995, S. 36 – 39.
- [70] Shim, S. S.: Antriebsrichtung der Stromwirtschaft mit Berücksichtigung auf Umweltbelastung. In: KEPCO: Electricity Economy, Earbook of Energy Statistics, Seoul, H. 5,1996, S. 12,13.
- [71] IEA: World Energy Statistics and Balances for 1994, Paris, 1995.

- [72] Park, K. Y.: Analyse des Strombedarfs. In: KEPCO: Electricity Economy, Yearbook of Energy Statistics, Seoul, H. 5, 1996, S. 192 – 197.
- [73] Samoo Architects: Entwurfskriterien zum Energiesparen des Bürogebäudes, Seoul, 1994, S. 5.
- [74] Korea Energy Economics Institute; KEPCO: Survey and Forecast of Summer Cooling Load. KEEI; KEPCO, Seoul, 1994, S. 2.
- [75] Korea Electricity Power Institute: Forschungsbericht – KRC-92G-TO3. KEPI, Seoul, 1995, S. iii.
- [76] Ohne Verfasser: 44. Bericht 1994: Die Elektrizitätswirtschaft in der BRD, Frankfurt, 1994.
- [77] Korea Energy Economics Institute: IEA Analysis Report for 1994. KEEI, Seoul, 1995, S. 105, 125.
- [78] IEA : Energy Prices and Taxes. In: KEY WORLD ENERGY STATISTICS from the IEA, IEA-Webseite, 1998.
- [79] Deutscher Bundestag: Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz; Schlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestage, Economica Verl., Bonn, 1995.
- [80] Korea Institute of Energy Research: Study of Direct Beam Solar Radiation and Development of Engineering Insolation Data in Korea (IV). KIER, Tae-jon, 1995.
- [81] Palz, W.: Atlas über die Sonneneinstrahlung Europa-Band 1 „Globalstrahlung auf Horizontale Flächen“ .Kommission der Europäischen Gemeinschaft; Dortmund, 1979.
- [82] Storey, R.: Korea – a travel survival kit. Lonely Planet Publications, Hawthorn, Australia, 1995.
- [83] Statisches Bundesamt: Länderbericht Korea Republik, Stuttgart, 1995, S. 26.
- [84] Moon, C.: Bodennutzung in der Korea und der BRD. Dissertation, RWTH Aachen, 1983, S. 43.
- [85] Kim, K. H.: Zum Problem des Geschosswohnungsbau in Seoul, Korea – unter besonderer Berücksichtigung der Verbesserung des Wohnumfeldes. Dissertation, RWTH Aachen, 1986, S. 10.
- [86] Maull, H. W.; Maull, I. M.: Korea. C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung München, 1987, S. 16.
- [87] Palz, W.: Atlas über die Sonnenstrahlung Europas Band 1 und Band 2. Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln, 1984, S. 102, 103, 152, 153.
- [88] Fischer, U.: Tageslichttechnik. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH, Köln-Braunsfeld, 1982, S. 24.

- [89] Lee, K. H.: Architectural Environmental Science. Moon-woon Dang, Seoul, 1997, S. 57, 189.
- [90] Daniels, K.: Technologie des ökologischen Bauens. Birkhäuser Verlag, Berlin, 1995, S. 204, 205.
- [91] Sträßer, M.: Klimadiagramme und Klimadaten. Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur, Dortmund, 1993.
- [92] ENERGIEBISS: Energie Beratung, Installation, Schulung, Service – Informationsprospekt. Gesellschaft für Solaranlagenbau mbH Berlin.
- [93] NEWTEC: Informationsprospekt. NEWTEC Kunststofftechnik, 1994.
- [94] LAUMANS: Die Ziegel der Zukunft - Informationsprospekt. Gebrüder Laumans GmbH & Co. KG, 1997.
- [95] BRAAS Dachsysteme: Informationsprospekt. Braas Dachsysteme GmbH, 1996. Korean Overseas Information Service, Korea, Seoul, Korea, 1978.
- [96] Nolte, C.; Pasquay, T.: Double facade-improved concepts for the use of solar energy. In: Proceeding of „ISES 1997 Solar World Congress“, Dae-Jon, Korea, 1997.
- [97] Nolte, C.: Improved concepts for the use of Solar energy in an existing University building. In: Proceeding of „2nd International Conference for Teachers of Architecture“, Florence, Italy, 1997.
- [98] Müller, H.; Nolte, C.; Pasquay, T.: Musterfassade. In: Intelligente Architektur, 15, November 1998.
- [99] Nolte, C.; Pasquay, T.: Geprüft. In: Intelligente Architektur, 15, November 1998.
- [100] ohne Verfasser: Doppelfassade. In: AIT- Form Intelligente Architektur, August 1998.
- [101] Hoffmann, V. U.: Praxisergebnisse und Langzeiterfahrungen mit netzgekoppelten PV-Anlagen. In: Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energie (Hg.) Tagungsband renergie '98. Hamm 05. und 06. Juni. 1998, Münster, S. 215.
- [102] Grötzner, M.; Roosen, P.: Optimierende Simulation von PV-Fassaden unter Berücksichtigung von Gebäudegeometrie und Verschattung. In: Heidt, F. D. (Hg.) Bestandsaufnahmen zur Niedrigenergie- und Solar-Architektur. Düsseldorf, VDI Verlag, 1997, S. 127-133.
- [103] Engelhorn, H.; Weik, H.: Wärme und Strom aus Sonnenenergie. Altlußheim, SET GmbH, 1986.
- [104] SCHÜCO: Architekten-Info: P 2123. Schüco International, Ausgabe 1993.
- [105] WWW-Seite: Mit Photovoltaik zur umweltschonenden Energieversorgung.
http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/BROSCHUE/SONDERPU/C04SP02.HTM

- [106] Knaupp, W.: Analyse und Optimierung von Photovoltaik-Modulen. Dissertation Universität Stuttgart, 1997.
- [107] PHOTON, Das Solarstrom – Magazin: Umfassende Marktübersicht, Wechselrichter. 3-98.
- [108] WWW-Seite: National Statistical Office/ R. O. Korea, Dwelling <http://www.nso.go.kr/kosis/info-1.htm>
- [109] Evaluation of Solar Radiation Components and It's Availability in Korea.
- [110] Scheer, H.: Eurosolar presse 26. August 1996.
- [111] Maycock, P.D.: Photovoltaic Technology, Performance, Cost and Market 1975-2010; Photovoltaic Energy Systems, Inc., Old Auburn RD, 1997.
- [112] Räuber, A., Wettling, W.: Stand der Technik und Wirkungsgrade von Solarzellen. In: IWR (Hg.) Tagungsband renergie 98.
- [113] Dimmler, Gross, Kessler et al.: Progress in CIGS Large Area Thin Film PV Modules Based on Industrial Process Technology. 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barnocelona, 30.06 – 04.07. 1997, S. 4.
- [114] Altmann, M.; Blandow, V.; Brunner, E.; Fechner, U.; Reismeyer, D.; Schindler, J.; Zehner, M.: Solarfabrik `96. Ermittlung des Kostenrahmens für den Aufbau und den Betrieb einer Photovoltaikfabrik mit 5MW bzw. 20 MW Jahresproduktion. Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH/Greenpeace e.V., Ottobrunn, 1995.
- [115] WWW-Seite: Themengebiet Energienutzung und Energiepolitik, Institut für Elektrische Energietechnik-Erneuerbare Energien, TU Berlin, <http://emsolar.ee.tu-berlin.de>.
- [116] Commision of the European Communities, Directorate General for Energy: Photovoltaics in 2010, Vol. 1-4, 09. 1995.
- [117] Eurosolar: Erneuerbare Energie. Eurosolar, 2/97.
- [118] Jung, M. W., Song, J. S, Yoon, K. H.: National Report of PV Power Applications in Korea 1996–1997. Korea Institute of Energy Reserch, Taejon, 05. 1998.
- [119] RaCER : 10- Year Energy Technology Development Programme. R&D Management Center for Energy Resources, Seoul, 1997.
- [120] Wilk, H.: Sonnige Aussichten für PV. Entwicklungen in und um Österreich. In: Eurosolar (Hg.) Erneuerbare Energie. 2/97.
- [121] Köhler, R.: Schweizer Energie-Fachbuch 1995. Künzler-Bachmann AG Verlag, Gallen, Schweiz, 1995.

Anhang: 1. Beschreibung der Beispielgebäude

1.1 Bürogebäude (Abschnitt 5.2)

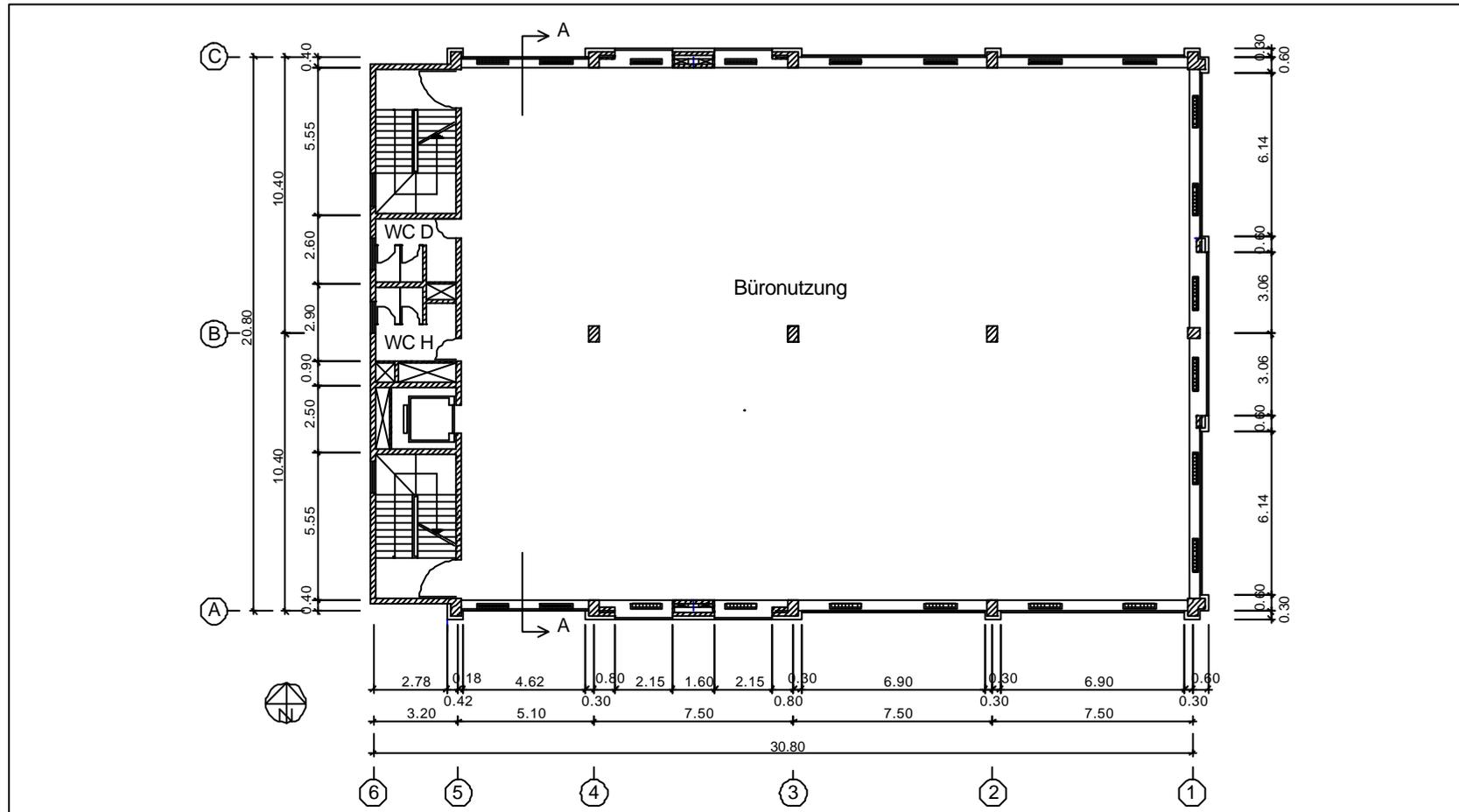


Abb. A-1: Grundriß, 4.OG

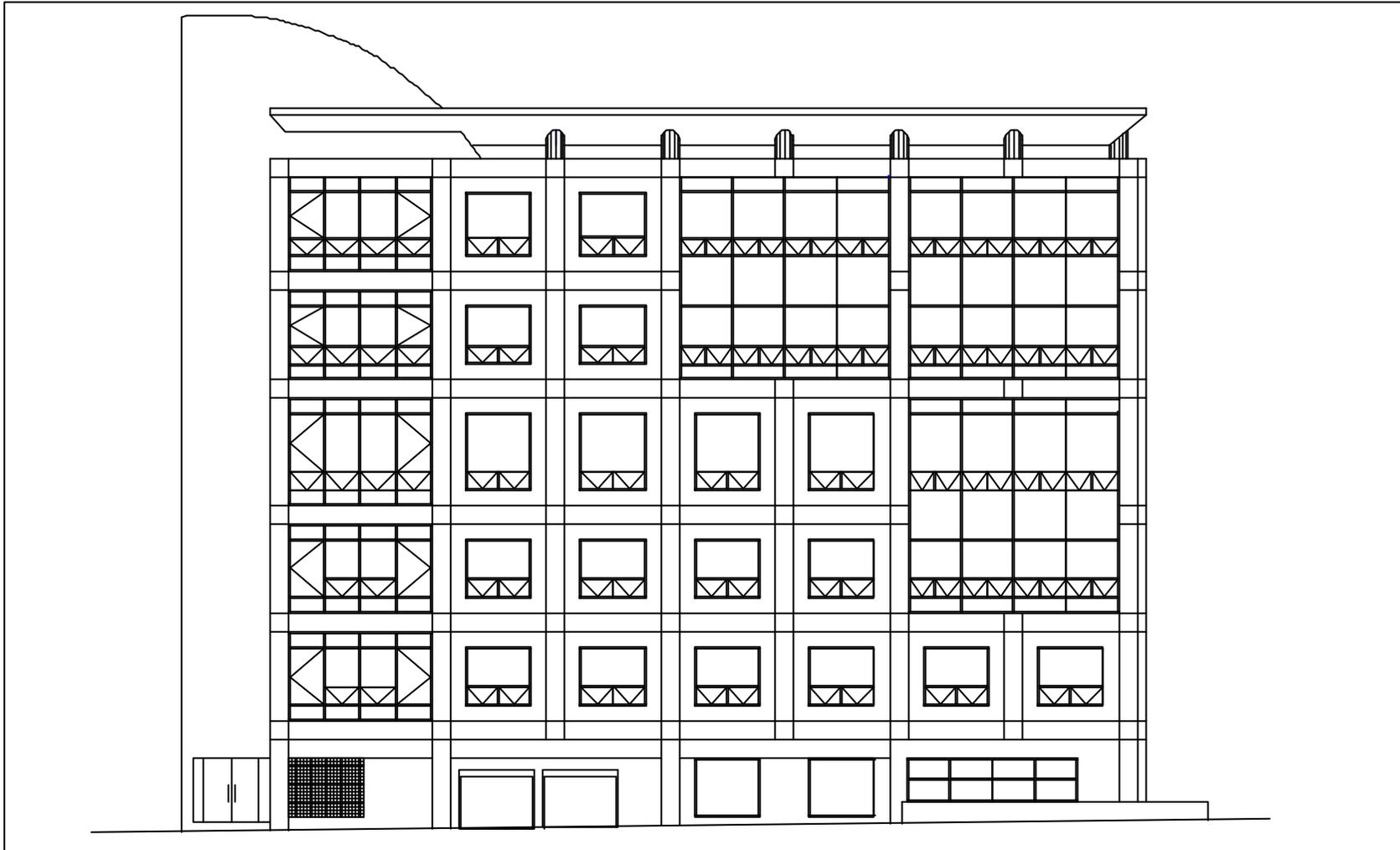
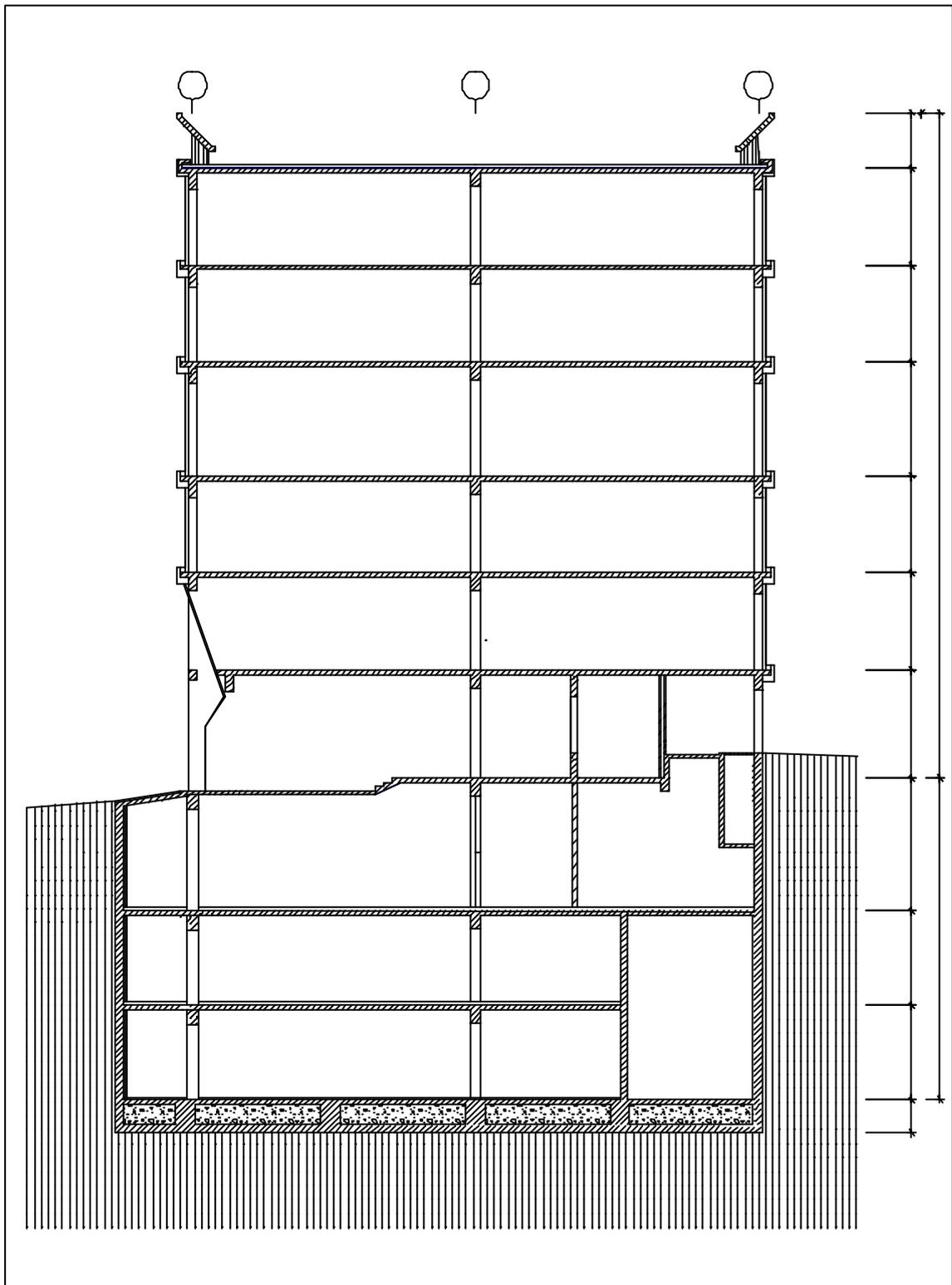
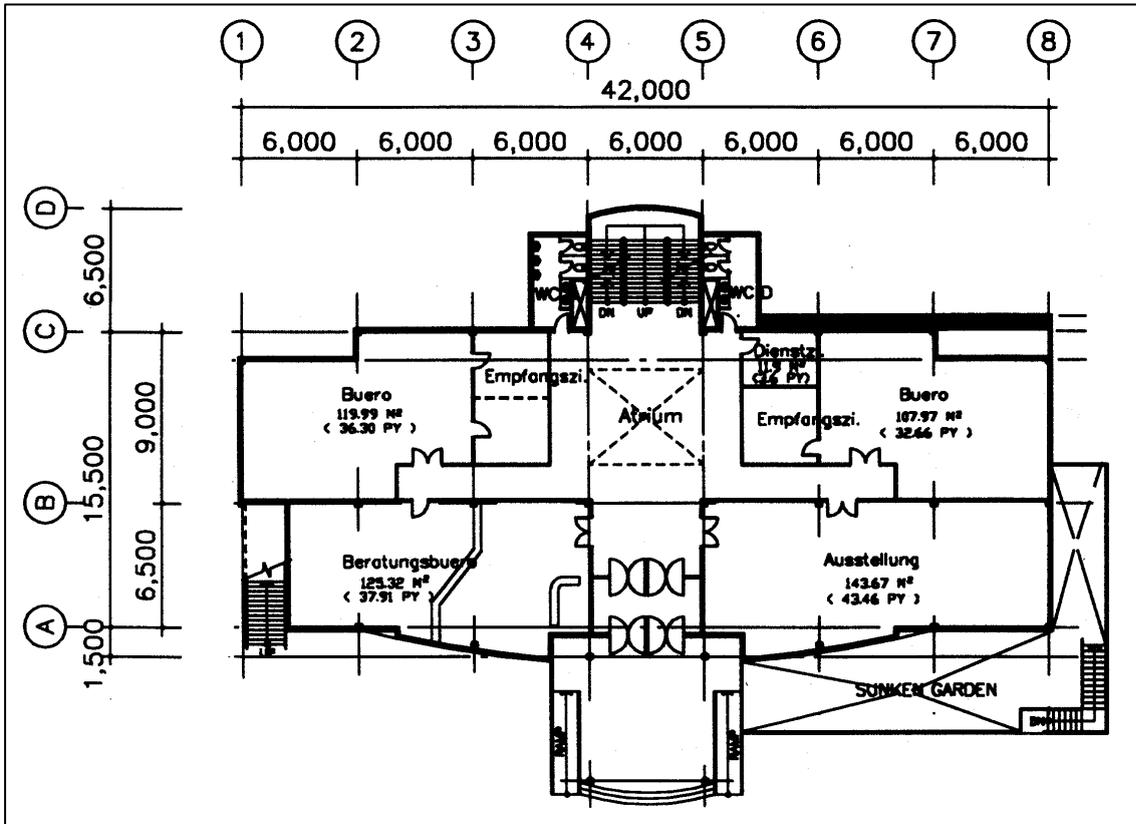


Abb. A-2: Südensicht

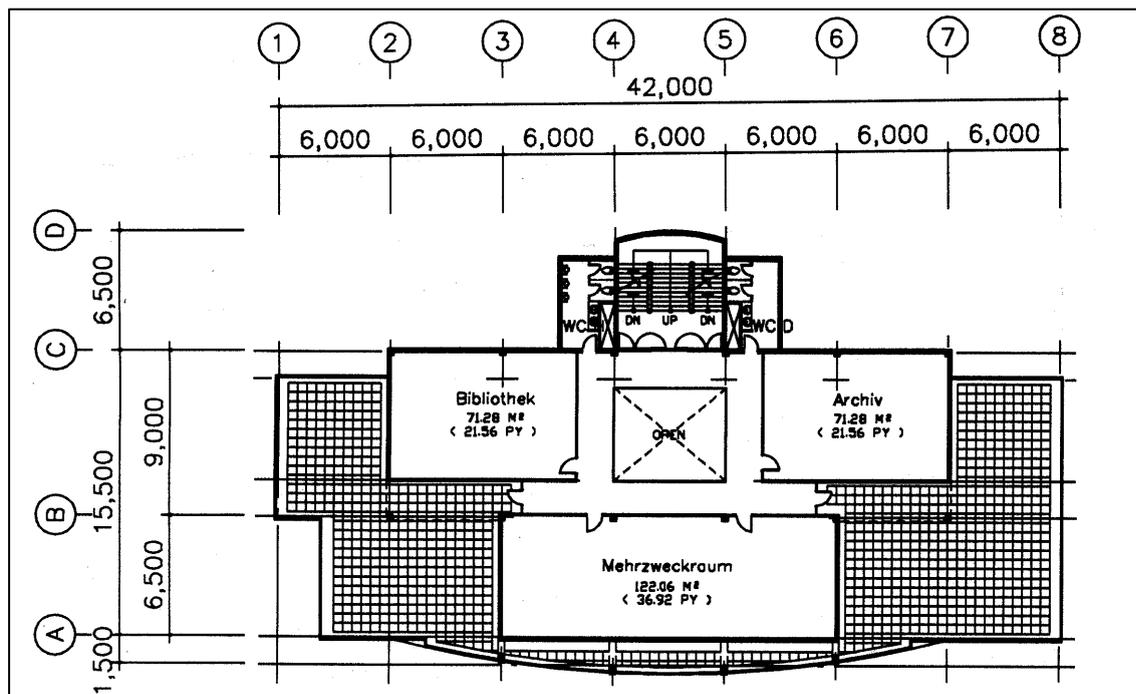


A b b . Schnitt A - A

1.2 Verwaltungsgebäude (Abschnitt 5.3)



A b b . Grundriß, EG



A b b . Grundriß, DG

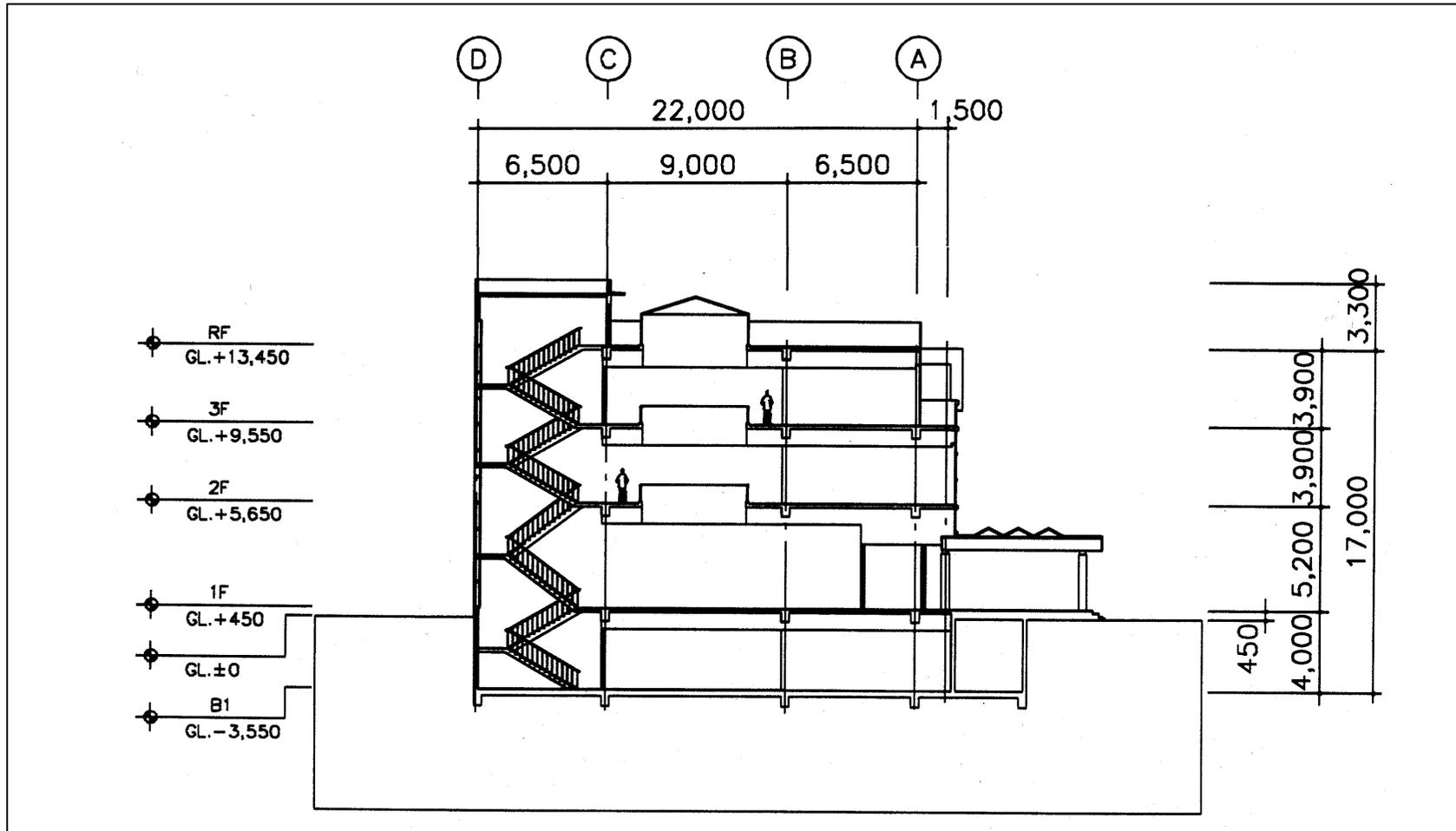


Abb. A-6: Schnitt

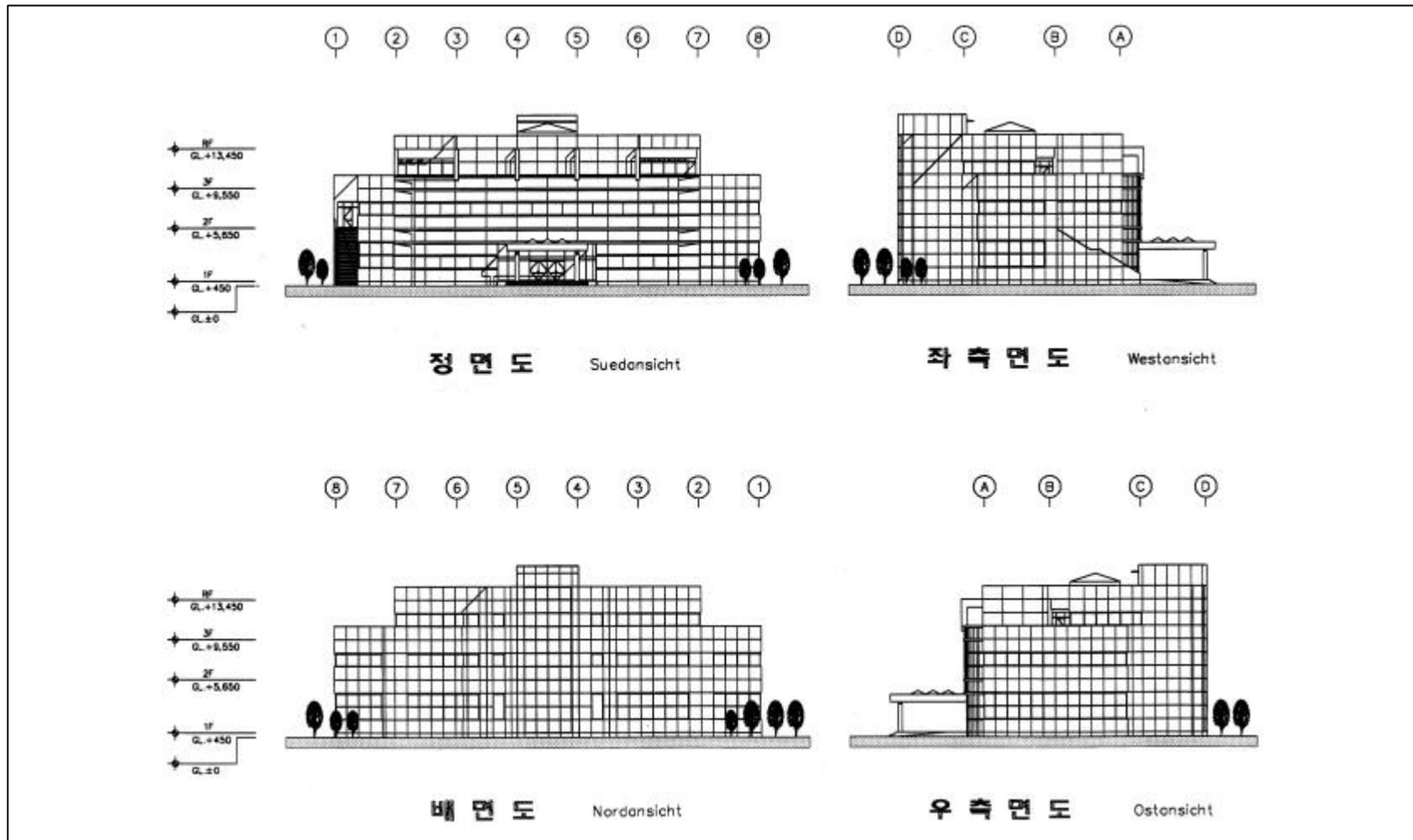
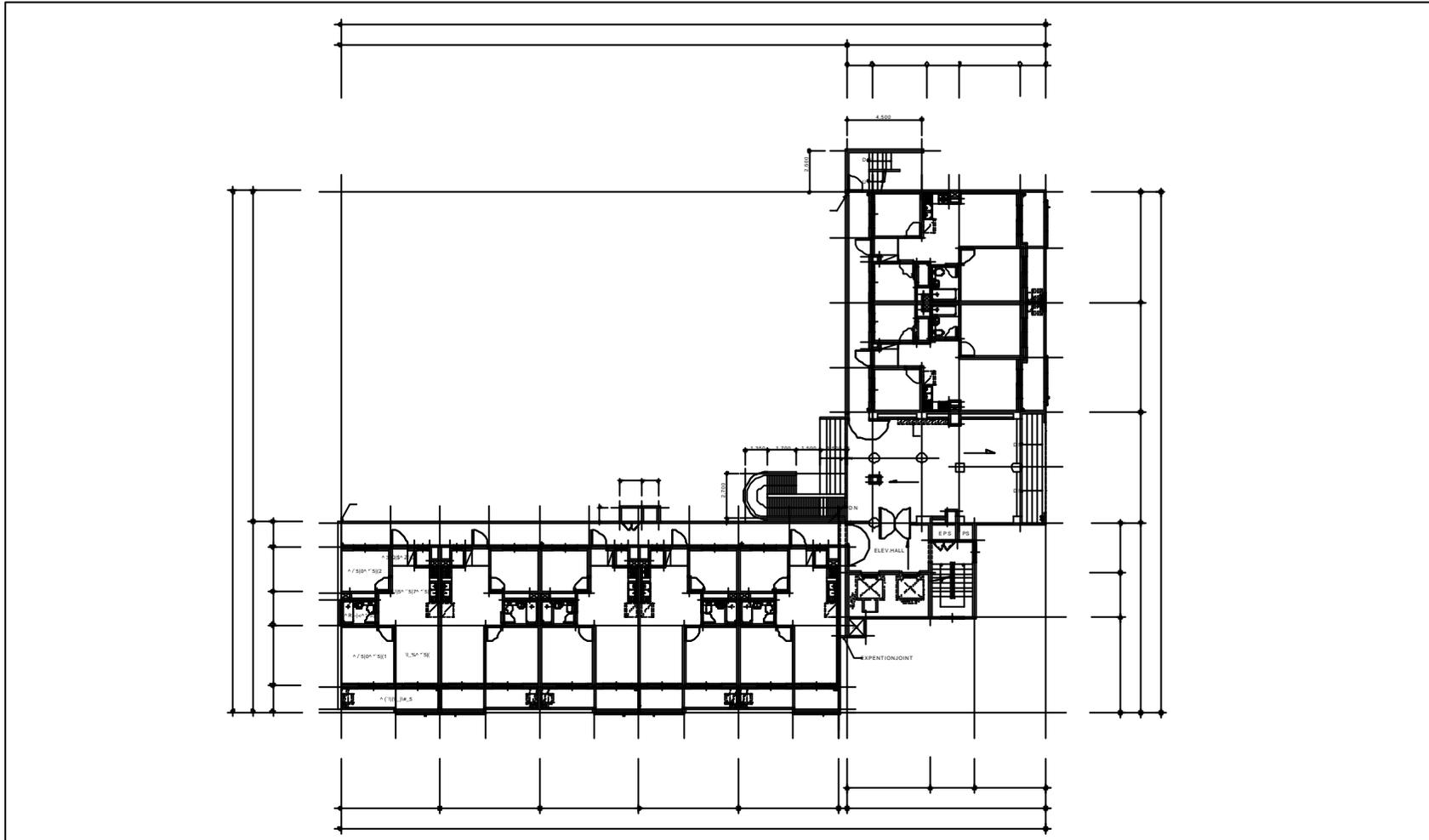


Abb. A-7: Ansichten

1.2 Appartementgebäude (Abschnitt 5.4)**Abb. A-8:** Grundriß, EG

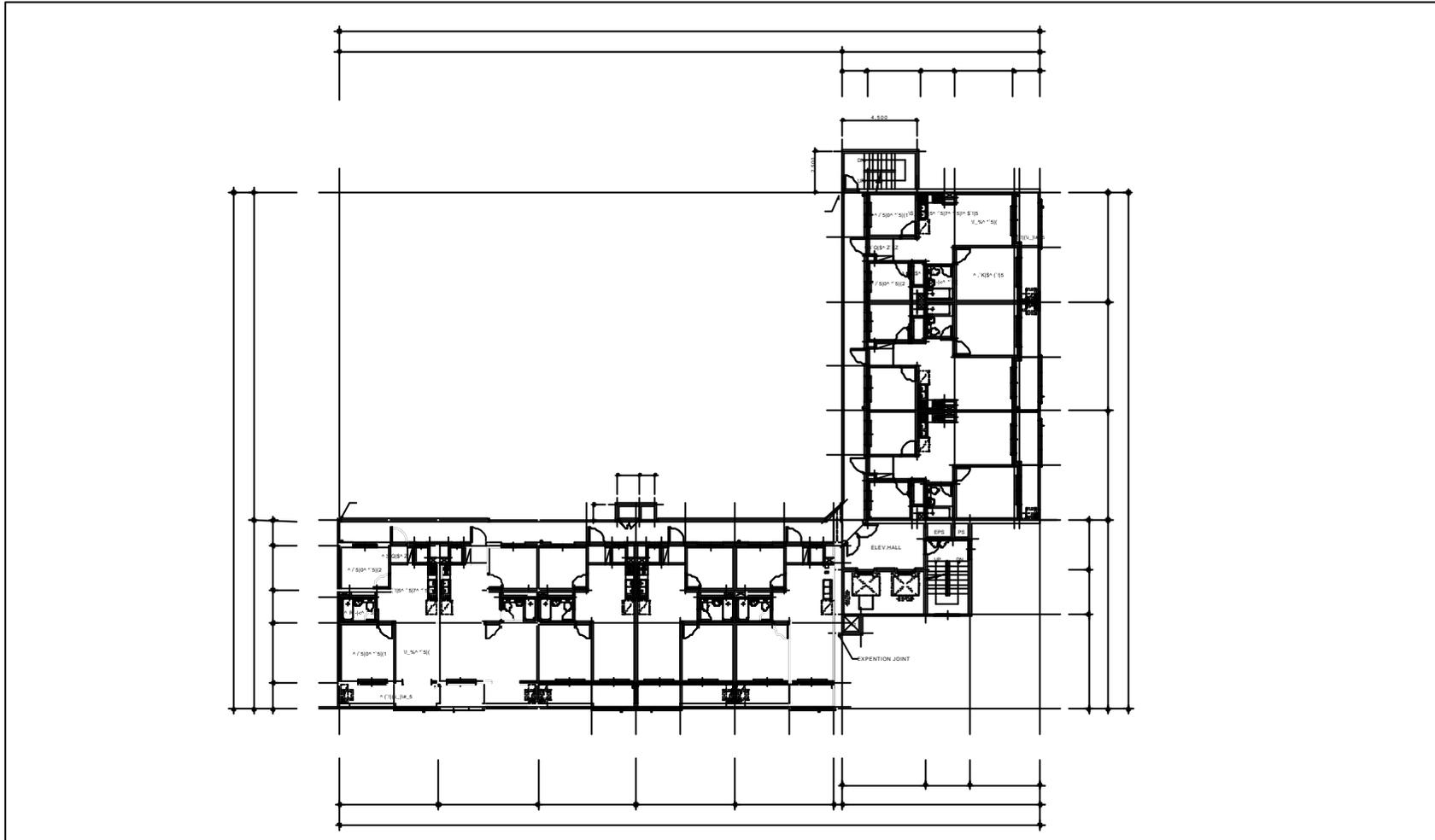


Abb. A-9: Grundriß, NG

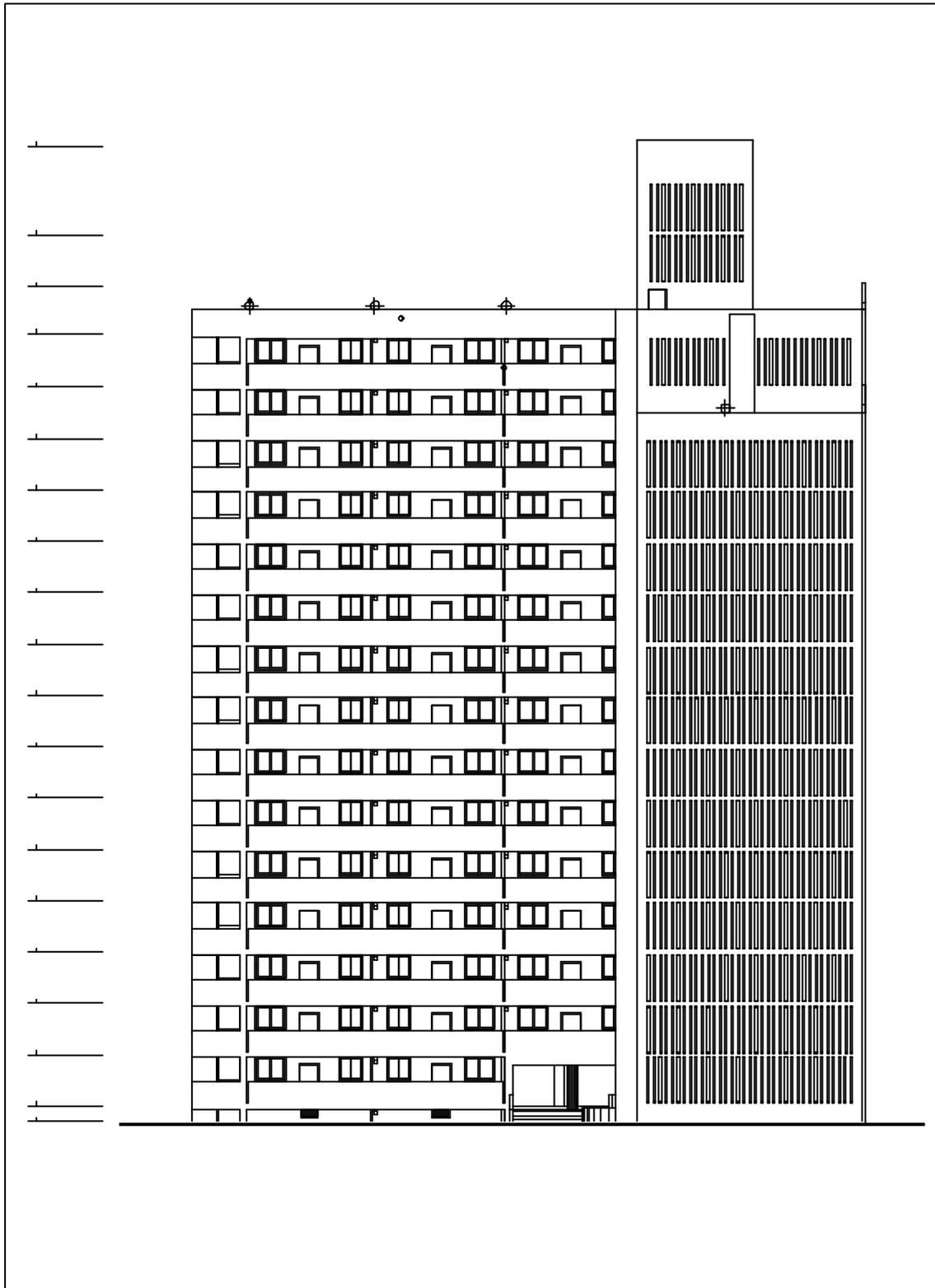


Abb. A-11: Südwest-Ansicht

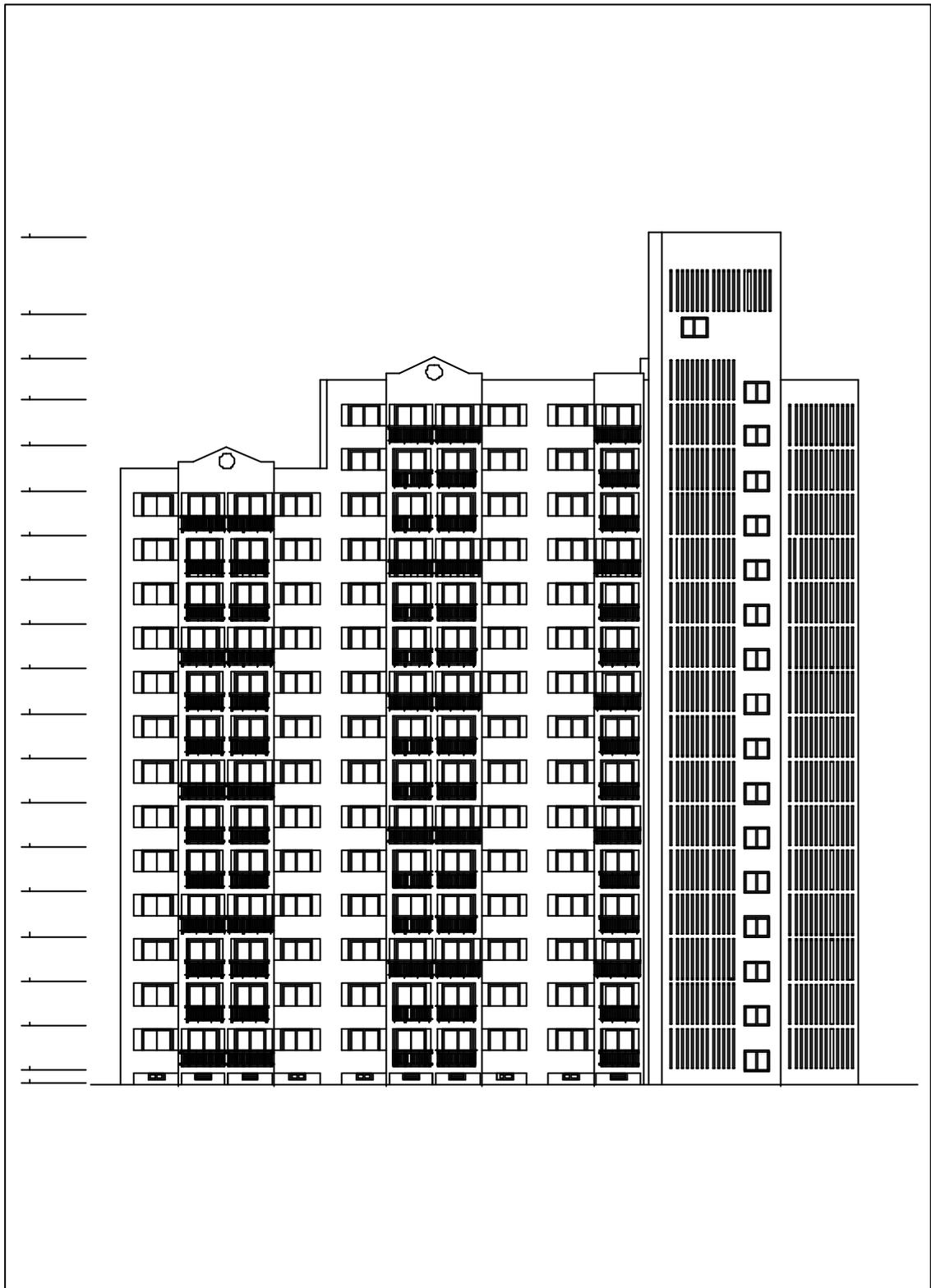


Abb. A-12: Südost-Ansicht

2. Umrechnungsfaktoren

2.1 Mengenäquivalente von Energieträgern [120]

	MJ	kWh Elektrizität	kg Steinkohle	kg Heizöl	l Heizöl	kg Holz
1kg Steinkohle	29,3	8,14	1,00	0,69	0,82	1,89
1kg Heizöl	42,7	11,86	1,46	1,00	1,19	2,75
1l Heizöl	35,9	9,97	1,23	0,84	1,00	2,32
1 kg Holz	15,5	4,31	0,53	0,36	0,43	1,00
1 kWh Elektrizität	3,6	1,00	0,12	0,08	0,10	0,23

- 1 TOE (Ton of Oil Equivalent) = 0,14 kg SKE [67]

Lebenslauf

Personalien

Vorname, Name : Eung-Jik, Lee
Geburtsdatum : 19. 03. 1957
Geburtsort : Kyung-Buk / Südkorea
Staatsangehörigkeit: koreanisch
Familienstand : verheiratet, 2 Kinder
Wohnsitz : Schieferbank 1, 44149 Dortmund

Ausbildung

1973 - 1976 Kyung-Hee High School in Seoul / Südkorea

Studium und beruflicher Werdegang

Studium in Korea :
1976 - 1980 Dan-Kook Universität in Seoul / Südkorea
Fachrichtung Elektrotechnik
Abschluß: Ingenieur

Militärdienst :
1980 - 1982 Oberleutnant

Berufstätigkeit:
1982 - 1983 Ingenieur bei einer Firma, Seoul

Studium in Deutschland:
1984 - 1985 Deutschkurs an der TH Aachen
1986 - 1993 Universität Dortmund, Fakultät Bauwesen
Fachrichtung Architektur
Abschluß: Diplomingenieur

Promotionsstudium und berufliche Tätigkeit:
05. 1994 - 05. 1999 Doktorand bei Prof. Dr.-Ing. H. F. O. Müller
Lehrstuhl für Klimagerechte Architektur
Fakultät Bauwesen, Universität Dortmund
05. 1995 - 08. 1998 Wissenschaftliche Hilfskraft und
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für
Klimagerechte Architektur, Universität Dortmund

Sonstiges:
01. 1995 - 12. 1996 Generalsekretär des Verbandes der Koreanischen
Wissenschaftler und Ingenieur in Deutschland e.V.