

Diploma Thesis

Economic and ecological comparison of flat roofs with and without moisture monitoring

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flach- dächern mit und ohne Feuchtemonitoring

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Maximilian Mayerhofer BSc

Matr.Nr.: 01326165

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Andreas Kropik**
Univ. Ass.in Dipl.-Ing.in **Theresa Barbara Oswald**

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Forschungsbereich Bauwirtschaft und Baumanagement
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/234-1, A-1040 Wien

Wien, im Jänner 2020



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Hinweis zur Geschlechterneutralität

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit werden in der vorliegenden Arbeit herkömmliche Personenbezeichnungen verwendet und diese sind als geschlechtsneutral zu verstehen. Dies soll keinesfalls eine Geschlechterdiskriminierung oder eine Verletzung des Gleichheitsgrundsatzes zum Ausdruck bringen.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Vorwort

Der Autor bedankt sich an dieser Stelle für die Kooperation und Zusammenarbeit mit allen Personen, ohne die diese Arbeit niemals zustande gekommen wäre:

Zunächst gilt mein Dank Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Kropik für das Ermöglichen dieser Arbeit, der guten Betreuung sowie der kritischen Hinterfragung von Inhalten.

Das gilt auch meiner Zweitbetreuerin Frau Univ. Ass.in Dipl.-Ing.in Theresa Barbara Oswald, die mit steter, freundlicher Hilfe sowie der Einbringung von zahlreichen Ideen besonderer Dank gebührt.

Ein herzliches Dankeschön gilt allen Mitarbeitern der Firma RPM Gebäudemonitoring GmbH. Mit euch zusammenzuarbeiten und gemeinsam die Digitalisierung voranzutreiben hat mir Freude bereitet. Danke für die kompetente und praxisnahe Beratung! An dieser Stelle ist besonders Herrn Christof Surtmann sowie Thomas Morgenfurt für die Einbringung der Ideen und der steten Diskussionen gedankt, die zum richtigen Weg führten. Weiters gilt mein Dank den Herren Mag. Otmar Petschnig und dessen Sohn Michael für die Ermöglichung der Zusammenarbeit und der überaus guten Betreuung.

Ohne die, seit jeher, großartige Unterstützung meiner Familie und ganz besonders meiner Eltern, wäre ein Studium und diese Arbeit unmöglich gewesen. Nur durch eurer stetiges Pochen auf den großen Wert von Bildung und euren Beistand, stehe ich dadurch kurz vor meinem universitären Abschluss. Danke dafür!

Ganz besonderer Dank richtet sich an Julia Meisel, die nicht nur durch ihr großartiges Lektorat diese Arbeit ganz besonders mitgeformt hat, sondern auch meine ganze universitäre Laufbahn. Ohne dich wäre ich heute nicht da wo ich bin und schon überhaupt nicht der, der ich bin.

Zu guter Letzt bedanke ich mich auch bei meinen Freunden für die hilfreiche Unterstützung in jeglicher Art und Weise.

Wien, am 03. Dezember 2020

Maximilian Mayerhofer



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

I. Kurzfassung

Das Flachdach zählt zu jenen Bauteilen, die am häufigsten von Schäden betroffen sind. Die Ursachen dieser Schäden sind vielfältig sowie häufig objektspezifisch. [1, S. 91]

Der Feuchtegehalt von Wärmedämmungen wirkt sich negativ auf die Heizkosten und auf ökologische Beurteilungskriterien aus. Ein feuchter Dachaufbau kann aus verschiedenen Gründen hervorgerufen werden. Einerseits durch den häufigen Fall, bei welchem die Abdichtung schadhaft ist, andererseits sind auch Umnutzungen des Gebäudes oder die nachträgliche Installation von PV-Elementen eine mögliche Ursache. Letzteres kann das vorhandene Temperaturniveau absenken, wodurch ein kritischer Feuchtezustand entsteht. Darüber hinaus ist auch die Wartung von Flachdächern eine wesentliche, aber oft vernachlässigte Komponente. Die vorliegende Arbeit widmet sich deshalb der Einwirkung von Wasser, welche ein hohes Schadenpotenzial mit sich bringt. Ausgehend von herkömmlichen Flachdachaufbauten wird untersucht, welche Parameter die Ökonomie und Ökologie von Flachdachaufbauten beeinflussen. Dabei wird speziell auf den Feuchtegehalt von Wärmedämmungen eingegangen. Zur Auffindung von Leckagen werden vorhandene Ortungsmethoden dargelegt und mögliche Schäden diskutiert. Sodann wird eine Sachverständigenumfrage durchgeführt, um einen Eindruck des Kostenniveaus und von aktuellen Ausführungstechniken zu generieren, wobei die Abschottung ein häufig verwendetes Instrument ist, um einen Totalschaden bei Leckagen zu verhindern.

Der Roof Protector (RP) ist ein Monitoringsystem und eignet sich nicht nur zur Feuchtigkeitsüberwachung, sondern bringt auch eine Erleichterung bei der Leckageortung mit sich. Ziel ist es, kritische Feuchtigkeitszustände frühzeitig zu erkennen und örtlich einzugrenzen, um Feuchtigkeitschäden, die unter Umständen erst Jahre später evident werden, zu verhindern. Ebenso kann ein mögliches Rücktrocknungspotenzial beurteilt werden.

Zusammenfassend gilt, dass zu spät erkannte Feuchteschäden an Gebäuden die Gebäudeeigentümer enorm belasten [2, S. 20]. Daher wird ein ökonomischer und ökologischer Vergleich zwischen einem Flachdach mit Abschottung und einem Flachdach mit RP durchgeführt. Bei der Modellbildung werden Gebäudenutzungsdauern von 30, 50 und 70 Jahren sowie bis zu zehn Schotte in Rechnung gestellt. Der Vergleich wird mit EPS sowie MW durchgeführt, wobei die Lebensdauern der Materialien in sechs verschiedenen Fällen abgebildet werden. Wird ein Schott nass, ist die Abdichtung, die Abschottung und die Dämmung zu wechseln. Hierbei entsteht der Vorteil des RP, weil lediglich die Abdichtung getauscht werden muss.

Entsteht bei der konventionellen Bauweise kein Schaden, resultiert auch kein ökonomischer Vorteil aus dem Monitoring – im Gegenteil, der Einsatz des RP ist unwirtschaftlich. Bei Erhöhung der Anzahl an Sanierungen und nass gewordenen Schotten, bei welchen die Wärmedämmung gewechselt werden muss, amortisiert sich der RP dafür umso schneller. Bei 50 Jahren Gebäudenutzungsdauer, Mineralwolle-Dämmung und einer Sanierung, muss lediglich ein Schott von zehn nass werden, um mit dem RP wirtschaftlicher zu sein. Bei EPS Dämmungen sind geringere Einsparungspotenziale möglich.

Die ökologische Modellbildung zeigt lediglich das bauliche Einsparungspotenzial bei Verwendung des RP auf, da ökologische Kenndaten des Monitoringsystems nicht verfügbar sind. Demnach kann die konventionelle Überwachung aufgrund der Abschottung nicht ökologischer sein. Im besten Fall sind für den RP bauseitige CO₂-Einsparungen von bis zu rund 60% im Bereich des Denkbaren. Sind zukünftig nähere Details zur Ökologie des RP bekannt, kann der Vergleich ganzheitlich betrachtet werden. Die baulichen Ökobilanzen versprechen allerdings auch hier gute Resultate.

II. Abstract

Flat roofs are among those components which are most frequently affected by damages. The causes of these damages are diverse and often specific to the building. [1, p. 91]

Moisture has a negative effect on heating costs and ecological assessment criteria. A humid roof construction can be caused by various reasons. On the one hand, the frequent case where the sealing layer is damaged, on the other hand, conversions of the building or the subsequent installation of PV elements are a possible cause. The last mentioned can lower the existing temperature level, resulting in a critical humidity level. Furthermore, the maintenance of flat roofs is an essential but often neglected component. The present study therefore focuses on the impact of water, which has a high damage potential. Based on conventional flat roof structures, it is investigated which parameters are influencing the economy and ecology of flat roofs. In particular, the moisture content in the thermal insulation is examined. To find leaks, existing localisation methods are presented and possible damages are discussed. An expert survey is then carried out to get an idea of the cost level and of current execution techniques, whereby compartmentalisation is a frequently used instrument to prevent a total loss in case of leakages.

The Roof Protector (RP) is a monitoring system and is not only suitable for moisture monitoring but also makes it easier to locate leaks. The aim is to detect critical moisture conditions at an early stage and to localise them in order to prevent moisture damage that may not become evident until years later. A possible re-drying potential can also be assessed.

In summary, moisture damages that are detected too late are an enormous burden on the building owners [2, p. 20]. Therefore, an economic and ecological comparison is made between a flat roof with compartmentalisation and a flat roof with RP. The model is based on building service lives of 30, 50 and 70 years and up to ten partitions. The comparison is carried out with EPS and MW, whereby the lifetimes of the materials are represented in six different cases. If a partition becomes wet, the sealing, compartmentation and insulation must be replaced. This is the advantage of a RP, because only the sealing needs to be replaced.

If no damage occurs in the conventional construction method, there is no economic benefit from monitoring - on the contrary, the use of a RP is uneconomical. If the number of renovations and wet partitions requiring a change of thermal insulation is increased, the RP will pay for itself more quickly. With 50 years of building service life, mineral wool insulation and one renovation, only one partition in ten needs to get wet to be more economical with the RP. Lower savings potentials are possible with EPS insulation.

The ecological modelling only shows the potential for structural savings when using the RP, since ecological data of the monitoring system are not available. According to this, conventional monitoring cannot be more ecological due to the compartmentalisation. In the best case, structural CO₂ savings of up to about 60% are conceivable for the RP. If more details on the ecology of the RP are known in future, the comparison can be viewed as a whole. However, the ecological balance sheets for the building promise good results here.

III. Abkürzungsverzeichnis und Formelzeichen

a	anno - Jahr
A	Dachfläche [m ²]
AW	Aufwandswert [min/m ²]
BIM	Building Information Modeling
BKV	Baukostenveränderung
BMWFW	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung
C	jährliche, nicht verzinst, konstante Zahlung [€/a]
C ₀	Zahlung zum Zeitpunkt 0 [€]
d	Dämmstoffdicke [m]
E	Anzahl der nassen Schotte bei der Entsorgung [-]
E-ALGV-4	Elastomerbitumen-Dampfsperrbahn mit Aluminiumverbund-Einlage und 4 mm Nenndicke
EK	Errichtungskosten [€]
E-KV-4	Elastomerbitumen-Dampfsperrbahn mit Kunststoffvlies und 4 mm Nenndicke
EPS	expandiertes Polystyrol
etc.	et cetera - und so weiter
EW _n	Endwert zum Zeitpunkt n [€]
EWR	Endwertwertrechnung
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
GWP	Global Warming Potential - Treibhauspotenzial
GWP _{0,EPS,RP}	GWP im Lebenszyklus eines Feldes ohne Sanierung/Komplett-austausch mit EPS Dämmung in der Variante RP [kg/Feld]
GWP _{0,MW,RP}	GWP im Lebenszyklus eines Feldes ohne Sanierung/Komplett-austausch mit MW Dämmung in der Variante RP [kg/Feld]
GWP _{diff}	GWP der diffusionshemmenden Schicht [kg/Schott]
GWP _{ges,EPS,RP}	gesamtes GWP im Lebenszyklus mit EPS Dämmung in der Variante RP [t CO ₂ -Äqui.]
GWP _{S,RP}	GWP einer Sanierung in der Variante RP [kg/Feld]
HGT	Heizgradtage [K·d]
i	i-te Kalkulationszinssatz [%]
k	Anzahl der Sanierungen und Komplett-austausche [-]
KA	Anzahl der nassen Schotte beim Komplett-austausch [-]
KAK	Komplett-austauschkosten [€]
LCC	Life Cycle Costs - Lebenszykluskosten
LCCR	Life Cycle Costs Roof - Lebenszykluskosten des Dachaufbaus [€]
LK	laufende Kosten [€]
m	Gesamtanzahl der Schotte bzw. Felder [-]
MK	Materialkosten [€/m ²]
MW	Mineralwolle
n	betrachteter Zeitraum [Jahre]
ND	Gebäudenutzungsdauer [Jahre]
NK	Neueinbaukosten [€]
PEB _{n.e.}	nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf [Wh]

III. Abkürzungsverzeichnis und Formelzeichen

PEB _{n.e.,0,EPS,RP}	PEB _{n.e} im Lebenszyklus eines Feldes ohne Sanierung/Komplett-austausch mit EPS Dämmung in der Variante RP [kWh/Feld]
PEB _{n.e.,0,MW,RP}	PEB _{n.e} im Lebenszyklus eines Feldes ohne Sanierung/Komplett-austausch mit MW Dämmung in der Variante RP [kWh/Feld]
PEB _{n.e.,diff}	PEB _{n.e} der diffusionshemmenden Schicht [kWh/ Schott]
PEB _{n.e.,ges,EPS,RP}	gesamter PEB _{n.e} im Lebenszyklus mit EPS Dämmung in der Variante RP [MWh]
PEB _{n.e.,S,RP}	PEB _{n.e} einer Sanierung in der Variante RP [kWh/Feld]
PK	Personalkosten [€/min]
PUR	Polyurethan
PV	Photovoltaik
PVC	Polyvinylchlorid
PwC	PricewaterhouseCoopers
Q _T	jährlicher Transmissionswärmeverlust [Wh]
RK	Rückbaukosten [€]
S ₁	Anzahl der nassen Schotte in der ersten Sanierung [-]
S ₂	Anzahl der nassen Schotte in der zweiten Sanierung [-]
t	Zeitdauer ab der Herstellung [Jahre]
T	Temperatur [°C]
U	Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m ² K)]
XPS	extrudiertes Polystyrol
Z1	Zuschlag 1 [%]
Z2	Zuschlag 2 [%]
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
η	Wirkungsgrad [-]
λ	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]
φ	Relative Luftfeuchte [%]
ψ	Feuchtegehalt [Vol.-%]

IV. Inhaltsverzeichnis

Hinweis zur Geschlechterneutralität	3
Vorwort.....	5
I. Kurzfassung.....	7
II. Abstract.....	8
III. Abkürzungsverzeichnis und Formelzeichen	9
IV. Inhaltsverzeichnis	11
1 Einleitung	15
1.1 Forschungsfrage.....	15
1.2 Methodenbeschreibung	16
1.3 Gliederung.....	17
1.4 Ziel der Arbeit	17
2 Konventionelle Herstellung und Überwachung	18
2.1 Herstellung	19
2.1.1 Warmdachaufbau.....	19
2.1.2 Funktion der Schichten und eingesetzte Materialien.....	20
2.1.3 Rücktrocknung und Feuchtigkeitsgehalt im Zuge der Herstellung	23
2.1.4 Einfluss von Feuchte auf die Wärmedämmung	26
2.1.5 Umnutzung von Gebäuden mit Flachdächern.....	28
2.2 Konventionelle Überwachung	28
2.2.1 DIN 18531-4:2017 07 01 – Inhalte.....	28
2.2.2 Exkurs: Subjektiver Eindruck von Flachdächern.....	29
2.3 Sanierung	30
2.3.1 Leckageortung	30
2.3.2 Mögliche Schäden und deren Behebung.....	30
2.4 Kosten	31
2.4.1 Einfluss des Feuchtegehalts auf die Energiekosten des Nutzers.....	32
2.5 Ökologie	36
2.5.1 Einfluss des Feuchtegehalts auf die Ökologie	37
2.5.2 Ökologische Konsequenzen im Lebenszyklus des Flachdachs	38
3 Das Monitoringsystem „Roof Protector“	40
3.1 Einbau des Roof Protectors	41
3.2 Feuchte- und Temperaturmonitoring.....	41
3.2.1 Technische Daten	42
3.2.2 Rücktrocknung und Feuchtigkeitsgehalt im Zuge der Herstellung	42
3.2.3 Nachträgliche Verschattung von Flachdächern	43
3.3 Sanierung	45
3.3.1 Leckageortung	45
3.3.2 Mögliche Schäden und deren Behebung.....	46
3.4 Kosten des Systems	47
3.5 Anwendungsmöglichkeiten und technische Grenzen	49
3.6 Kundenbefragung und Zufriedenheitsanalyse.....	50
4 Ökonomischer und ökologischer Vergleich.....	52
4.1 Exkurs: Digitalisierung im Bausektor.....	52
4.2 Facility Management und Smart Buildings	54
4.3 Nutzungsdauer und Lebensdauer.....	55
4.3.1 Nutzungsdauer des Gebäudes und Nutzungsdauer des Flachdachs	55

4.3.2	Lebensdauer	56
4.4	Modellbildung für den ökonomischen und ökologischen Vergleich.....	58
4.4.1	Definitionen	58
4.4.2	Modellbildung	58
4.4.3	Übersicht der Fälle A bis F	60
4.4.4	Allgemeine Modellgrenzen	60
4.5	Ökonomischer Vergleich.....	63
4.5.1	Besondere Modellgrenzen im ökonomischen Vergleich	63
4.5.2	Endwertberechnung: Allgemeines	65
4.5.3	Kostenberechnung pro Feld/Schott	69
4.5.3.1	Errichtungskosten pro Schott (Variante K)	69
4.5.3.2	Errichtungskosten pro Feld (Variante RP)	70
4.5.3.3	Sanierungskosten pro nassem Schott (Variante K)	71
4.5.3.4	Sanierungskosten pro trockenem Schott (Variante K)	73
4.5.3.5	Sanierungskosten pro Feld (Variante RP)	74
4.5.3.6	Komplett austauschkosten pro nassem Schott (Variante K)	74
4.5.3.7	Komplett austauschkosten pro trockenem Schott (Variante K)	75
4.5.3.8	Komplett austauschkosten pro Feld (Variante RP)	77
4.5.3.9	Rückbaukosten	77
4.5.3.10	Laufende Kosten.....	77
4.5.3.11	Zusammenfassung der Kosten pro Schott bzw. Feld	78
4.5.4	Fallauswertung.....	79
4.5.4.1	Auswertung einer Beispielkombination des Falles F	79
4.5.4.2	Auswertung der LLCR im Fall A	83
4.5.4.3	Auswertung der LLCR im Fall B ₁	85
4.5.4.4	Auswertung der LLCR im Fall B ₂	87
4.5.4.5	Auswertung der LLCR im Fall C ₁	89
4.5.4.6	Auswertung der LLCR im Fall C ₂	91
4.5.4.7	Auswertung der LLCR im Fall D ₁	93
4.5.4.8	Auswertung der LLCR im Fall D ₂	95
4.5.4.9	Auswertung der LLCR im Fall E	97
4.5.4.10	Auswertung der LLCR im Fall F	99
4.6	Ökologischer Vergleich.....	101
4.6.1	Besondere Modellgrenzen im ökologischen Vergleich.....	101
4.6.2	Eingrenzungen der Fälle A bis F	101
4.6.3	Ökologische Auswirkungen pro Schott/Feld	102
4.6.3.1	Umweltauswirkungen im Lebenszyklus eines Feldes ohne Sanierung und ohne Komplett austausch (Variante RP)	102
4.6.3.2	Umweltauswirkungen im Lebenszyklus eines Schottes ohne Sanierung und ohne Komplett austausch (Variante K)	103
4.6.3.3	Umweltauswirkungen einer Sanierung eines Feldes (Variante RP).....	104
4.6.3.4	Umweltauswirkungen einer Sanierung eines Schottes (Variante K)	104
4.6.4	Fallauswertung.....	105
4.6.4.1	Auswertung einer Beispielkombination des Falles F	105
4.6.4.2	Auswertung des baulichen Einsparungspotenzials im Fall A	107
4.6.4.3	Auswertung des baulichen Einsparungspotenzials im Fall B	107
4.6.4.4	Auswertung des baulichen Einsparungspotenzials im Fall C.....	108
4.6.4.5	Auswertung des baulichen Einsparungspotenzials im Fall D.....	108
4.6.4.6	Auswertung des baulichen Einsparungspotenzials im Fall E.....	109

4.6.4.7 Auswertung des baulichen Einsparungspotenzials im Fall F	109
5 Conclusio	110
Quellenverzeichnis	113
Abbildungsverzeichnis.....	116
Tabellenverzeichnis.....	117
Anhang.....	119



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1 Einleitung

Der Feuchtigkeitszustand in Flachdächern ist häufig unbekannt. Dieser wird erst evident, wenn Schäden zutage treten. Für eine schnelle, zielgerichtete Reparatur ist es dann meist zu spät. Die Folgen sind aufwendige und kostenintensive Sanierungen. In vielen Fällen muss der gesamte Dachaufbau entfernt und wieder neu eingebaut werden. Besonders Holzkonstruktionen sind gefährdet, weil die Feuchtigkeit eine Zersetzung der Tragkonstruktion verursachen kann. Eine Sanierung ist jedoch nicht nur mit Kosten und Zeit verbunden, sondern auch mit einer erheblichen ökologischen Belastung der Umwelt, da die eingesetzten Materialien in Dachaufbauten häufig nur begrenzt recyclingfähig sind. Ebenso muss der Zeitraum des ersten Eindringens von Wasser beziehungsweise Feuchtigkeit in die Dämmebene und der Zeitpunkt des Auftretens des Schadens berücksichtigt werden. Da dieser Zeitraum erhebliche Ausmaße annehmen kann, und die Wärmeleitfähigkeit der Dämmmaterialien im Allgemeinen mit Zunahme der Feuchtigkeit ansteigt, ergeben sich neben den typischen Schadenserscheinungen (wie zum Beispiel Verlust der Druckfestigkeit) auch entsprechende Wärmeverluste über das Flachdach. Die Wärmeverluste bringen sowohl ökologische als auch ökonomische Nachteile mit sich.

Diese und andere Einschränkungen des konventionellen Flachdachbaus können, sogar unter Einsparung eines Teils der potenziellen Sanierungskosten, verhindert werden. Das wird durch Monitoringsysteme ermöglicht. Monitoringsysteme sind technische Systeme, die den Feuchtigkeitszustand und die Temperatur im Dachpaket messen können. Dadurch ist zu jedem Zeitpunkt der Dachzustand bekannt und das Dach kann, im Falle einer Abweichung, zielgerecht und kosteneffizienter saniert werden. Im Regelfall muss nicht mehr der ganze Dachaufbau entfernt und wieder eingebaut werden. So können unter anderem hohe Sanierungskosten, kurze Nutzungsdauern sowie hohe Wärmeverluste verhindert werden.

Ebenfalls berücksichtigt werden müssen die aktuellen Trends im Energiesektor. Bei Bestandsbauten steigen die Nachrüstungen von Solar und Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) am Dach, durch ihre vielfältigen Vorteile, stark an. Aufgrund der nachträglichen Verschattung des Daches durch eben diese Anlagen, ändern sich jedoch die physikalischen Gegebenheiten im Dachaufbau. Die Senkung des Temperaturniveaus der Dachhaut kann zu einer erheblichen Feuchteerhöhung im Schichtpaket führen. Bleibt dieses Phänomen unbeachtet, kann es zu Schäden im Dach kommen.

Auch bei Neubauten spielt die Feuchtigkeit unter der Abdichtungsebene eine große Rolle. Ein gewisser Feuchtegehalt im Flachdachaufbau ist unvermeidlich, jedoch gilt es zu beurteilen, ob und inwiefern diese Feuchtigkeit rücktrocknen kann. Auch wenn zu Beginn keine Schäden erkennbar sind, können jedoch aufgrund der langen Einwirkungsdauer der Feuchte mit der Zeit entsprechende Schäden entstehen.

In der vorliegenden Arbeit werden die konventionelle Herstellung und die Überwachung des Flachdachs mit einem Monitoringsystem der Firma RPM Gebäudemonitoring GmbH, dem sogenannten „Roof Protector“, verglichen und die Vor- und Nachteile dieses Systems dargestellt.

1.1 Forschungsfrage

Anhand dieser Arbeit soll bewertet werden, ob ein Monitoringsystem im Flachdach, am Beispiel des Roof Protectors, wirtschaftlich sinnvoll, im Vergleich zur herkömmlichen Ausführung angewendet werden kann. Mit Hilfe eines Berechnungsmodelles soll der kostenbehaftete

Vergleich konventioneller und moderner Überwachungen beurteilt werden, um somit die Vor- und Nachteile qualifizieren und quantifizieren zu können.

Da im Flachdachbau hauptsächlich nur begrenzt recycelbare Materialien verwendet werden, ergibt sich nicht nur die Frage nach den Sanierungskosten, sondern auch der Nachhaltigkeit, der Nutzungsdauer und der Lebensdauer von Materialien. Vor allem aufgrund der immer wichtiger werdenden Gebäudezertifikate für Nachhaltigkeit, soll untersucht werden, welche Vorteile mit Monitoringsystemen im Bereich der Ökologie umgesetzt werden können.

1.2 Methodenbeschreibung

Um eine Bewertung durchführen zu können, muss zunächst der Ist-Stand bezüglich der Herstellung und Überwachung von Flachdächern ausgearbeitet werden. Dieser Teil basiert hauptsächlich auf einer Literaturrecherche.

Im nächsten Schritt wird das System Roof Protector analysiert. Der Großteil der vorhandenen Daten stammt von dem Unternehmen RPM Gebäudemonitoring GmbH. Zusätzlich wird eine Kundenbefragung durchgeführt.

Im Anschluss wird die Modellbildung beschrieben und die zugehörigen Modellgrenzen erläutert. Dabei wird zwischen einem Flachdach der konventionellen Bauweise und einem Flachdach, bei welchem der Roof Protector eingesetzt wird, unterschieden.

Bei der konventionellen Bauweise wird bei der Kostenermittlung eine Abschottung je 250 m² Dachfläche verbaut. Im Vergleich dazu, wird beim Flachdach mit Roof Protector keine Abschottung berücksichtigt. Da der Roof Protector eine Dachfläche von ebenfalls 250 m² abdeckt, können im ersten Schritt die Kosten bzw. Umweltauswirkungen pro Flächeneinheit für beide Varianten (mit/ohne RP) evaluiert werden. In der Berechnung werden bis zu zehn Schotte berücksichtigt, was einer Dachfläche von 2.500 m² entspricht.

Im zweiten Schritt werden verschiedene Sanierungsszenarien („Fälle“) definiert. In der Modellbildung wird im Gebäudelebenszyklus von bis zu zwei Sanierungen und von bis zu einem Komplettaustausch ausgegangen, die in der wirtschaftlichen Betrachtung zu unterschiedlichen Zeitpunkten angesetzt werden. Die im ersten Schritt ermittelten Kosten bzw. Umweltauswirkungen, werden verwendet, um durch die Falldefinitionen, die Kosten/Umweltauswirkungen im Laufe des Gebäudelebenszyklus zu bestimmen. Hierbei muss bei jeder Sanierung und beim Komplettaustausch unterschieden werden, ob in der konventionellen Variante das Schott zum Zeitpunkt der Sanierung bzw. Entsorgung nass oder trocken ist. Daraus resultiert, dass für jeden Fall verschiedene Kombinationsmöglichkeiten von nassen und trockenen Schotten schlagend werden, was entscheidenden Einfluss auf die Vorteilhaftigkeit des RP hat. Anhand einer Beispielskombination wird dieser Umstand in Kapitel 4.5.4.1 für die wirtschaftliche Betrachtung und in Kapitel 4.6.4.1 für die ökologische Betrachtung detailliert erläutert. Alle Kombinationen werden für EPS und MW berechnet.

Da eine maximale Gebäudenutzungsdauer von 70 Jahren berücksichtigt wird, wird zusätzlich eine Endwertberechnung, demnach eine Verzinsung der Kosten, in die Berechnung inkludiert. Als Ergebnis wird, im wirtschaftlichen Vergleich für jede Kombinationsmöglichkeit pro Fall, das absolute und das relative Einsparungspotenzial sowie die Amortisationsdauer ausgegeben.

Im ökologischen Vergleich werden, da die Umweltauswirkungen des Roof Protectors nicht bekannt sind, lediglich die rein baulichen Maßnahmen beurteilt und das bauliche Einsparungspotenzial aufgezeigt.

1.3 Gliederung

Die vorliegende Arbeit ist in drei Teilbereiche unterteilt.

In Kapitel 2 wird zunächst die Herstellung von Flachdächern sowie das Rücktrocknungsverhalten dargelegt. Im Anschluss wird auf die konventionelle Überwachung eingegangen. Im Falle eines Schadens werden mögliche Schäden, deren Behebung und ökologische Konsequenzen diskutiert.

Im Kapitel 3 wird der Roof Protector vorgestellt. Die grundsätzliche Gliederung dieses Kapitels ist an Kapitel 2 angelehnt. Auch hier wird zunächst die Herstellung, gefolgt von der Überwachung, hier Monitoring genannt, beschrieben. Danach werden die Sanierung und die Kosten analysiert. Am Ende dieses Kapitels befinden sich eine grundlegende Gegenüberstellung der Systeme und eine Kundenbefragung.

Anschließend wird in Kapitel 4 eine wirtschaftliche und ökologische Gegenüberstellung dargelegt, um die in Kapitel 3.5 genannten Vorteile auch mit Zahlen belegen zu können.

Am Ende der Arbeit findet sich ein Conclusio.

Um die Ergebnisse des ökonomischen Vergleiches so überschaubar zu halten, werden im Anhang nur die für den Roof Protector negativen Kombinationen dargestellt. Den ökologischen Vergleich betreffend, werden alle nicht kongruenten Kombinationen abgebildet und das absolute sowie das relative bauliche Einsparungspotenzial aufgezeigt.

1.4 Ziel der Arbeit

Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit ist die Förderung der Digitalisierung im Bauwesen, im speziellen die des Monitorings. Die großen wirtschaftlichen Folgen von Wasserschäden im Flachdach sollen durch intelligente Systeme vermieden und somit die Wettbewerbsfähigkeit des Auftraggebers gesteigert werden.

2 Konventionelle Herstellung und Überwachung

Flachdächer haben die Aufgabe, Gebäude vor äußeren Einflüssen zu schützen. Dabei müssen sie hohe Qualitätsanforderungen erfüllen. [3, S. 99]

Ab $10,0^\circ$ Dachneigung spricht man üblicherweise von flachgeneigten Dächern. Als Flachdach im eigentlichen Sinn versteht man Dächer mit einer Dachneigung $\alpha \leq 5,0^\circ$, weil bei kleineren Neigungen keine Dacheindeckung mit fugenbehafteten Materialien mehr möglich ist. [4, S. 2]

Aus diesem Grund ist die (im besten Fall) wasserdicht ausgeführte Dachabdichtung charakteristisch für das Flachdach. Hierfür können flüssige Dichtstoffe (z. B. Flüssigkunststoffe) oder bahnförmige Materialien (z. B. Bitumenbahnen, Kunststoff-/Elastomerbahnen) zum Einsatz kommen. Die Abdichtung soll das Einlaufen von Wasser in die Konstruktion verhindern, weswegen auch sämtliche Durchdringungen und Anschlüsse wasserdicht auszuführen sind. Dies kann zum Beispiel mit Manschetten oder Hochzügen erreicht werden. Ein ausreichendes Gefälle ($> 2,0\%$) und entsprechende Dachabläufe sind die Voraussetzung für eine funktionsfähige Dachentwässerung. [5, S. 23f]

Eine grundsätzliche Einteilung von Flachdächern kann nach dem Aufbau (siehe Abbildung 2.1), den eingesetzten Materialien oder der Nutzung vorgenommen werden.

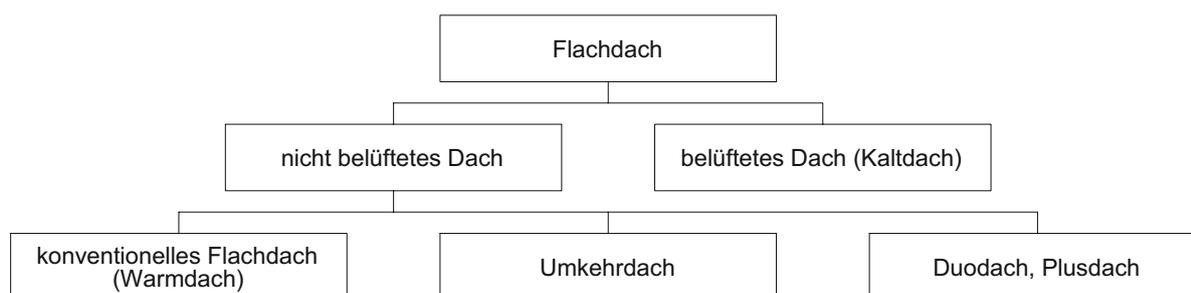


Abbildung 2.1: Einteilung von Flachdächern nach deren Aufbau [3, S. 98]

Einteilung nach der Nutzung: [4, S. 9]

- nicht begehbare Dächer
- begehbare Dächer
- befahrbare Dächer
- begrünte Dächer

Das Warmdach ist bei Flachdächern der am häufigsten vorkommende Dachtyp.

In der vorliegenden Arbeit werden Kalt- und Umkehrdächer sowie befahrbare Dächer außer Acht gelassen, da hier die Anwendungsgrenzen des Roof Protectors erreicht werden und diese Betrachtungen somit nicht relevant sind (für Anwendungsgrenzen siehe auch Kapitel 3.5.). Für Aufbauten oder Nutzungen dieser Art muss auf ein anderes Monitoringsystem (z. B. Flachbandsensoren) umgestiegen werden.

2.1 Herstellung

Ausgehend vom Warmdachaufbau wird in diesem Kapitel auf den Feuchtigkeitsgehalt im Zuge der Herstellung sowie der damit einhergehenden Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit der Dämmebene eingegangen. In diesem Zusammenhang wird ebenso die Umnutzung von Gebäuden diskutiert.

2.1.1 Warmdachaufbau

Warmdächer (siehe Abbildung 2.2) sind nicht belüftete Dächer, bei denen sich im Vergleich zu den Kaltdächern, keine Luftschicht über der Wärmedämmung befindet. Demnach sind also alle Schichten direkt miteinander in Kontakt. Der Begriff „Warmdach“ soll verdeutlichen, dass die Tragkonstruktion bei niedrigen Außentemperaturen warm bleibt und nicht stark abkühlt. [5, S. 36]

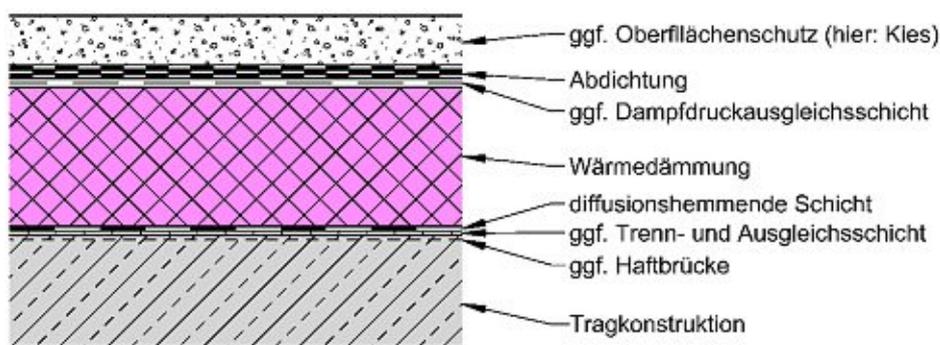


Abbildung 2.2: Konventioneller Warmdachaufbau [5, S. 37]

Ein charakteristisches Merkmal des Warmdachaufbaus ist die diffusionshemmende Schicht. Diese kommt unterhalb der Wärmedämmung zu liegen, ist also auf der warmen Seite des Aufbaus angeordnet. Die diffusionshemmende Schicht soll den Transport von Wasserdampf aus den unterhalb liegenden Schichten sowie jenen Wasserdampftransport, der aus der raumseitigen Nutzung entsteht, verhindern bzw. begrenzen, um schädliches Tauwasser zu minimieren. [5, S. 36]

Da sich stehendes Wasser vor allem bei Vorhandensein von Leckagen generell nachteilig auf die Dachkonstruktion auswirkt, wird in der ÖNORM B 3691 Punkt 5.5.1 [6, S. 19] ein Mindestgefälle von 2% angegeben. Ein Gefälle von 5,4% (= 3,0°) soll angestrebt werden. Die Herstellung des Gefälles erfolgt entweder durch die entsprechende Tragkonstruktion, den Einsatz von Gefällebeton oder mithilfe von Gefälledämmplatten, falls diese im gewünschten Dämmstoff verfügbar sind. Flachdächer mit einem Gefälle unter 2,0% sowie Gründächer mit Wasseranstau benötigen Zusatzmaßnahmen. Diese können folgende sein: [4, S. 24]

- Monitoringsysteme
- Zusätzliche Entwässerungseinrichtungen
- Erhöhung der Abdichtungsqualität und Anzahl der Lagen
- Vergrößerung der Abdichtungsdicke

Über der Wärmedämmung wird die Abdichtungsebene eingebaut, weswegen sich der Aufbau, so die Theorie, im Trockenen befindet. Ob dies über die gesamte Nutzungsdauer gewährleistet ist, hängt von vielen Faktoren ab. Diese sind auszugsweise:

- Qualität und Quantität der Abdichtungsebene

- Anzahl und Anschlussqualität von Durchdringungen
- Qualität der Bauteilanschlüsse
- Nutzung des Dachs
- Nutzung der darunter liegenden Räume
- Feuchtigkeitsgehalt bei der Herstellung
- Rücktrocknungspotenzial
- Nachträgliche Verschattung
- Eingesetzte Materialien
- Berücksichtigung der Situation des Daches bereits in der Planungsphase in richtiger Art und Weise
- Qualität der örtlichen Bauaufsicht bei der Umsetzung des Bauvorhabens

2.1.2 Funktion der Schichten und eingesetzte Materialien

In diesem Kapitel werden die eingesetzten Materialien und Schichten am Flachdach, dem Aufbau von unten nach oben fortschreitend, erläutert.

Für den Flachdachaufbau werden im Regelfall folgende Materialien als Tragkonstruktion verwendet: [4, S. 21f]

- Ortbetondecken
- Betonfertigteile
- Gefällebeton
- Holz (z. B. Holzschalungen, Brettsper Holz, Brettschichtholz, vorgefertigte Elementdächer, etc.)
- Stahltrapezprofile

Vor allem Unterkonstruktionen aus Holz benötigen eine besondere Vorsichtshaltung und auch ein zusätzliches Monitoring der Holzkonstruktion selbst ist denkbar.

Die Oberfläche der Tragkonstruktion muss vordefinierte Toleranzanforderungen erfüllen, formstabil und frei von groben Verunreinigungen sein. Die Unterkonstruktion ist so auszuführen und zu planen, dass die nachfolgenden Schichten, insbesondere die Feuchtigkeitsabdichtung, nicht durch Risse oder Verformungen beschädigt oder beeinträchtigt wird. [4, S. 22]

Die Haftbrücke, umgangssprachlich als Voranstrich bekannt, ist Teil des Abdichtungssystems. Sie ist im Normalfall bei verklebten bituminösen Abdichtungen sowie Flüssigabdichtungen notwendig. Zweck der Haftbrücke ist es, eine ausreichende Haftzugfestigkeit zu ermöglichen, wenn der Untergrund keine direkte Verklebung zulässt. [4, S. 30]

Trennlagen im Flachdachaufbau können als Schutz- oder Gleitschicht notwendig werden. Bei einer chemischen Unverträglichkeit, wie zum Beispiel zwischen einer Polyvinylchlorid-Abdichtung (PVC-Abdichtung) und einer Expandierten Polystyrol (EPS) Dämmung, ist der Einsatz einer Trennlage notwendig. Ausgleichsschichten hingegen fungieren als trockene Unterlage für die darüberliegenden Schichten. Sie überbrücken geringe Schwind- und Spannungsrisse und gleichen gegebenenfalls Unebenheiten aus. [4, S. 32]

Diffusionshemmende Schichten verzögern im Allgemeinen das Eindringen von Wasserdampf in die Dämmschicht und somit dessen anschließendes Ausfallen als Tauwasser. Soll die vorhandene Feuchtigkeit im Aufbau nach Innen abtrocknen können, kann eine vorhandene diffusionshemmende Schicht nachteilig wirken, weil das Abtrocknen erschwert oder unterbunden

wird. Vor allem bei Holzkonstruktionen ist diesbezüglich eine bauphysikalische Beratung unerlässlich, weil bei falscher Anwendung massive Schäden entstehen können. [4, S. 33]

Im Regelfall kommen heute bei Leichtbaukonstruktionen aus Holz feuchtevariable Dampfbremsen zum Einsatz. Da diese im Winter einen höheren Diffusionswiderstand haben und einen reduzierten im Sommer, kann das Rücktrocknungspotenzial erhöht werden. [7, S. 55]

Als Material für die diffusionshemmenden Schichten kommen Bitumen-Dachbahnen, Bitumen-Schweißbahnen (mit und ohne Metallbandeinlage), Polymerbitumenbahnen, Kunststoff- und Elastomerbahnen sowie Verbundfolien in Frage. [5, S. 51]

Bei der Herstellung der diffusionshemmenden Schicht sind sämtliche Überlappungen, Durchdringungen, etc. system- und baustoffgerecht sowie luftdicht auszuführen. Weiters ist sie luftdicht mit dem Untergrund zu verkleben und bis über die Oberkante der Wärmedämmung hochzuziehen. Trenn- und Bewegungsfugen müssen entsprechend ausgebildet werden.

In diesem Zusammenhang wird auf nachweisfreie Konstruktionen gem. ÖNORM B 8110-2 Punkt 8 verwiesen. Voraussetzung ist eine fachgerechte Ausführung. Liegt keine nachweisfreie Konstruktion vor, sind auf jeden Fall vertiefte bauphysikalische Nachweise zu erbringen. Diffusionshemmende Schichten sind so zu bemessen, dass sich die Wasserdampfdiffusion nicht schädigend auf die Schichten auswirken kann. [8, S. 15f]

Die Wärmedämmung verringert im Winter den Transmissionswärmefluss, wodurch Energieverluste gemindert werden können. Ebenfalls werden temperaturbedingte Dehnungen, Spannungen und Risse gedämpft. Wärmedämmungen können lose verlegt oder aber auch punktweise, streifenweise oder vollflächig geklebt werden. Bei Dächern mit Abdichtungen dürfen nur solche Dämmstoffe verwendet werden, die den Normen oder technischen Zulassungen entsprechen. Bei der Dämmstoffauswahl sind folgende Kriterien zu beachten: [4, S. 35]

- Druckfestigkeit
- Verhalten bei Vorhandensein von Feuchtigkeit, Nässe und Wasserdampf
- Wärmeleitfähigkeit
- Formbeständigkeit
- Temperaturbeständigkeit
- Brennbarkeit

Die erforderliche Dicke der Wärmedämmung richtet sich nach den geltenden behördlichen Vorschriften, welche im Regelfall auf die jeweils gültige Fassung der OIB Richtlinie 6 [9] verweisen.

Die am häufigsten verwendeten Dämmstoffe sind Mineralwolle (MW) und EPS. Zusammengekommen haben diese einen Marktanteil von rund 87% [10, S. 74]. Ebenso eingesetzt werden extrudiertes Polystyrol (XPS) sowie Polyurethan-Hartschäume (PUR). In weiterer Folge werden alternative Dämmstoffe außer Acht gelassen.

EPS ist gegen UV-Strahlung empfindlich und muss deshalb davor geschützt werden. Dieses Dämmmaterial ist nicht lösungsmittelbeständig und nicht hitzebelastbar. Bei einer Lagerung im Wasser nimmt EPS deutlich mehr Feuchtigkeit auf als XPS und darf deshalb in feuchten Bereichen nicht eingesetzt werden. [4, S. 37]

Im Vergleich zu EPS hat XPS eine geschlossene Zellstruktur. Durch diese nimmt der Dämmstoff auch langfristig nur geringfügig Wasser auf. Der Extruderschaumstoff ist aber ebenfalls nicht lösungsmittelbeständig. [4, S. 37]

Bei Polyurethan-Hartschäumen wird zwischen fabrikmäßig vorkonfektionierten Wärmedämmplatten und der Herstellung von PUR-Ortschaum unterschieden. Wenn Polyurethanhartstoffe im Flachdachbau eingesetzt werden, werden üblicherweise PUR-Hartstoffplatten verwendet. Da diese Platten im Regelfall beidseitig kaschiert sind, um ein Verziehen zu verhindern, sind sie absolut trocken zu halten, weil sich sonst die Gefahr des Aufschüsselns erhöht. Ansonsten nimmt der Dämmstoff kaum Wasser auf, ist unverrottbar und alterungsbeständig. [4, S. 38]

Mineralwolle wird aus Mineralschmelzen künstlicher Zusammensetzung gewonnen. Hinsichtlich der Temperaturbeständigkeit, Brennbarkeit, Diffusionsoffenheit und Verarbeitung weist sie gute Eigenschaften auf. Jedoch verliert sie unter längerer Feuchtigkeitseinwirkung an Festigkeit und an Dämmvermögen. [4, S. 39]

EPS Dämmplatten sind mit dem Untergrund zu verkleben. PUR-Hartschaumplatten können entweder verklebt oder mechanisch befestigt werden. Dämmstoffe aus Mineralwolle können ebenfalls mechanisch befestigt werden oder aber auch lose verlegt werden, in welchem Fall eine Auflast als Sogsicherung, welche z. B. durch eine Bekiesung mit einer Mindestschütthöhe von 6 cm realisiert werden kann, benötigt wird. [5, S. 58]

Die Dampfdruckausgleichsschicht wird unter der Abdichtung in der Regel dann eingebaut, wenn die Abdichtungsebene auf die Wärmedämmung geklebt werden soll. Durch eine flächige und zusammenhängende Luftschicht sollen der Ausgleich und die Entspannung des Wasserdampfdrucks, welcher sich aus eingebauter oder eindiffundierter Feuchtigkeit aufbaut, erreicht werden. Diese Schicht kann auch als Trennschicht fungieren, wodurch etwaige Auswirkungen von Bewegungen der Wärmedämmung vermindert werden können. Ziel der Dampfdruckausgleichsschicht ist es, eine Blasenentstehung der Abdichtung zu verhindern. Wird die Abdichtung lose verlegt, ist eine Dampfdruckausgleichsschicht nicht erforderlich, jedoch muss die Sogsicherung sichergestellt sein. [4, S. 42]

Die Dachhaut kann entweder aus Bitumenbahnen, Kunststofffolien oder nahtlos als Flüssigabdichtung hergestellt werden, wobei die Bitumenabdichtung die längste Bautradition innehat. [4, S. 42]

Die Planung und Ausführung von Dachabdichtungen ist in der ÖNORM B 3691 [6] in den dort definierten Abschnitten detailliert festgehalten. Dort werden die erforderlichen Schichten und die zugehörigen Materialien beschrieben. In Abhängigkeit der Schadensfolgeklasse des Gebäudes und der geplanten Nutzungsdauer werden die Nutzungskategorien K1, K2 und K3 festgelegt, wobei K3 die hochwertigste Nutzung darstellt. Danach wird abhängig von der Nutzungskategorie und der Nutzung (z. B. Ungenutztes Dach, Terrasse, Loggia etc.), die Mindestanzahl der Lagen und die Summe der Nenndicken bei Bitumenbahnen und die Mindestdicken bei Kunststoffbahnen angegeben. Sämtliche An- und Abschlüsse sowie Dachdurchdringungen sind bei der Abdichtung winddicht und bei Gründächern zusätzlich wurzelfest auszuführen. [6, Punkt 5.4, Seite 14f] Für die Zuordnung und Näheres siehe Kapitel 4.3.

Gemäß ÖNORM B 3691 Punkt 5.6 [6, S. 20] können zur Erhöhung der Funktionssicherheit folgende Zusatzmaßnahmen veranlasst werden:

- Unterteilung des Dachaufbaus mit unterlaufsicheren Abschottungen (max. 200 bis 300 m² und mindestens ein Kontrollstutzen pro Schott).
- Ausbildung der diffusionshemmenden Schicht mit Elastomer-Bitumendampfsperrbahnen E-ALGV-4, E-KV-4 oder E-KV-5 samt Entwässerung. Ist die Entwässerung nicht kontrollierbar, sind Kontrollschächte anzuordnen.
- Ausbildung eines Unterdaches gemäß ÖNORM B 4119.

- Einbau von Detektionssystemen, die eine zerstörungsfreie Feuchtigkeitskontrolle ermöglichen.
- Gefälle der Abdichtungsschicht von mindestens 10,0%.

Für Dächer der **Kategorie K3** ist **mindestens eine dieser Zusatzmaßnahmen** und eine zumindest jährliche Wartung **verpflichtend**. [6, Punkt 5.6, Seite 20]

Die kostenmäßige Auswirkung dieser Verpflichtung wird im Kapitel 4 analysiert.

Bei der Nutzungskategorie K2 und K3 wird von der ÖNORM B 3691 Punkt 5.4 ein Feuchte-monitoring ausdrücklich empfohlen. [6, S. 19]

Die i. A. oberste Schicht, der Oberflächenschutz, hat die Aufgabe, den Dachaufbau vor der Witterung, insbesondere vor Temperaturschwankungen und UV-Strahlung sowie vor mechanischen Beschädigungen zu schützen. Eine Auflast, wie zum Beispiel eine Bekiesung, reduziert oder verhindert die Gefahr des Abhebens der Dachhaut bei Windsog. An die Stelle des Oberflächenschutzes kommen beim Gründach eine, von der Art der Bepflanzung abhängige, Substratschicht sowie diverse Filter-, Wurzel- und Schutzschichten zum Einsatz. [4, S. 52f]

2.1.3 Rücktrocknung und Feuchtigkeitsgehalt im Zuge der Herstellung

Grundsätzlich gilt, dass eine funktionierende Entwässerung auch im Bauzustand vorhanden sein muss. [6, Punkt 6.1, S. 27f]

Gemäß ÖNORM B 3691 Punkt 6.1 hat die Verarbeitung der Materialien unter Berücksichtigung des jeweiligen Arbeitsverfahrens so zu erfolgen, dass ein Dachaufbau erzielt wird, der unter Bewitterung und Beachtung der örtlichen Gegebenheiten folgende Anforderungen erfüllt: [6, S. 27f]

- Wasser- und Luftdichtheit
- Verhinderung des Eindringens von Regen, Schnee und Hagel auch unter Windeinfluss
- Sicherstellung, dass die geplanten bauphysikalischen Eigenschaften (z. B. Dämmwert) erreicht werden
- den geplanten Belastungen z. B. durch Windsog, Betreten, Befahren oder Begrünen standgehalten wird

Um eine witterungsbedingte Feuchtigkeitsaufnahme zu vermeiden, ist auf die Wärmedämmung Zug um Zug die erste Abdichtungslage zu verlegen. Diese ist nach jeder Tagesetappe sowie bei Witterungsumschlägen als Tagesabschottung gegen die diffusionshemmende Schicht oder den Untergrund anzuschließen. [6, Punkt 6.4.2, S. 32]

Trotz der oben genannten Regeln für das Abdichten eines Flachdachs, gilt Regen während der Bauphase als sehr häufige Ursache für Bauschäden. Der zuständige Unternehmer ist i. A. dazu verpflichtet, einen dichten und windgesicherten Witterungsschutz vor Beendigung der Arbeiten herzustellen. Bei fehlendem oder fehlerhaftem Witterungsschutz drohen nicht unerhebliche Sanierungskosten. [11, S. 81]

Nicht nur Regen kann Feuchtigkeit in die Konstruktion einbringen, sondern auch die verbauten Materialien. Beispielsweise sind hier die Wärmedämmung oder hölzerne Unterkonstruktionen anzuführen.

Bleibt die Baufeuchte unentdeckt, ist mit erhöhtem Wärmeverlust und je nach Material mit einem Feuchteschaden der Tragkonstruktion zu rechnen.

Ist Feuchte in den Dachbau eingedrungen und will man sie entfernen, muss sie entweder über längere Zeit ausdiffundieren können, oder sie muss aus der Ausgleichsschicht abströmen können. Um das zu erreichen, sollte einerseits eine Ausgleichsschicht vorhanden sein und andererseits müssen dafür sogenannte Flachdachentlüfter (siehe Abbildung 2.3) eingebaut werden, die mithilfe von Manschetten an die Abdichtung wasserdicht angeschlossen werden. Inwieweit die Flachdachentlüfter wirksam sind und ob nicht durch ungünstige Klimaverhältnisse ein zusätzlicher Feuchteeintrag im Dachpaket entstehen kann, ist für den Einzelfall zu untersuchen. [4, S. 42]

Der Feuchtegehalt der Dämmstoffe ist an den jeweiligen Öffnungsstellen möglichst genau festzustellen und zu dokumentieren. Flüssiges Wasser soll aus dem Dachaufbau entfernt bzw. abgesaugt werden. Grundsätzlich wird der Trocknungserfolg durch Dachlüfter kritisch gesehen. Die Trocknung ist nur in unmittelbarer Nähe der Lüfter gegeben, aber Lüfter, welche mit einem Ventilator betrieben werden, können einen größeren Wirkungskreis erfassen. Trotzdem ist ein dokumentierter langfristiger Betrieb von Lüftern mit Feuchtemessungen nicht bekannt. Auch die Erfolgsaussichten von technischer Trocknung, also das Einblasen von trockener Luft, wird ebenso kritisch gesehen. Zusammengefasst sind die Möglichkeiten der Austrocknung feuchter Dämmschichten in Flachdächern beschränkt, weswegen ein Eindringen von Feuchtigkeit schon im Vorhinein vermieden werden soll. [12, Seite 27f]

Im Zuge der Ausführung sind geringe Feuchtemengen nicht immer vermeidbar, diese beeinträchtigen die Funktion der Dachschichten in der Regel aber nicht. Der Austrocknungsprozess kann durch die Maßnahme eines Feuchtemonitorings überwacht werden. [6, Punkt 6.4.2, S. 32]



Abbildung 2.3: Beispiele für Flachdachentlüfter (schwarz) [13]

Eine normgerechte Qualitätssicherung beginnt bereits in der Planung. Diese wird auch während der Ausführung fortgesetzt und kann vom ausführenden Unternehmer in Form der Eigenüberwachung oder andererseits auch vom sachkundigen Bauherrn bzw. dessen Vertretern in Form einer Fremdgüteüberwachung durchgeführt werden. Im Falle einer Fremdgüteüberwachung durch externe Prüfstellen wird unterschieden in: [14, S. 25]

- Eignungsprüfungen: Z. B. Überprüfungen des beigestellten Materials und der örtlichen Begebenheiten
- Güteprüfungen: Kontrollen während der Leistungserbringung, Sichtprüfungen, mechanische Kontrollprüfungen und dergleichen. Eine dieser Prüfungen ist die Wasserprobe.
- Funktionsprüfungen: Unter anderem Prüfungen nach der Leistungserbringung. Sie können Übernahmekriterien beinhalten.

Die oben erwähnte Wasserprobe ist eine tradierte Güteprüfung, die nicht mehr zeitgemäß ist, trotzdem aber teilweise Anwendung findet. Gemäß ÖNORM B 3691 Punkt 5.4 [6, S. 18] ist die Wasserprobe untersagt. Bei Anwendung dieser Dichtheitskontrolle werden alle Dachabläufe verschlossen und das Flachdach mit Wasser geflutet. Ziel dieser Überprüfung ist es herauszufinden, ob das Dach undicht ist und falls dem so ist, die Schadensstelle zu lokalisieren. Dazu wartet man rund 48 Stunden und beobachtet die Deckenuntersicht auf Wasserspuren. [15]

Hierbei können ggf. auch nur Teile des Dachs geflutet werden oder das Wasser mit Farbstoffen eingefärbt werden, um die Lokalisierung zu erleichtern [16]. Aber selbst dann ist die exakte Feststellung des Schadenursprungs nicht einfach.

Der große Nachteil dieser Methode ist, dass falls das Dach undicht ist, eine aufwändige Sanierung notwendig wird, weil ein massiver Wassereintrag in die gesamte Konstruktion erfolgt ist [17]. Ein detaillierter Vergleich der Wasserprobe mit Monitoringsystemen findet sich in Kapitel 3.2.2.

2.1.4 Einfluss von Feuchte auf die Wärmedämmung

Im Rahmen dieser Arbeit soll der kostenmäßige Einfluss beurteilt werden, wenn Wärmedämmung feucht wird. Durch unterschiedliche Feuchtegehalte resultiert ein unterschiedlicher Wärmestrom und dadurch auch veränderte Kosten. Für den Einfluss der Feuchte auf die Wärmedämmung werden dafür die Ergebnisse eines Forschungsprojektes entnommen. Dabei handelt es sich um eine Studie mit dem Titel: „Langzeitverhalten feuchter Dämmstoffe auf Flachdächern - Praxiserfahrungen und Wärmestrommessungen“. Diese wurde vom Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik in Zusammenarbeit mit dem Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München erstellt. Die Ergebnisse sind nachfolgend in Abbildung 2.4 für den hier relevanten Umfang zusammengefasst.

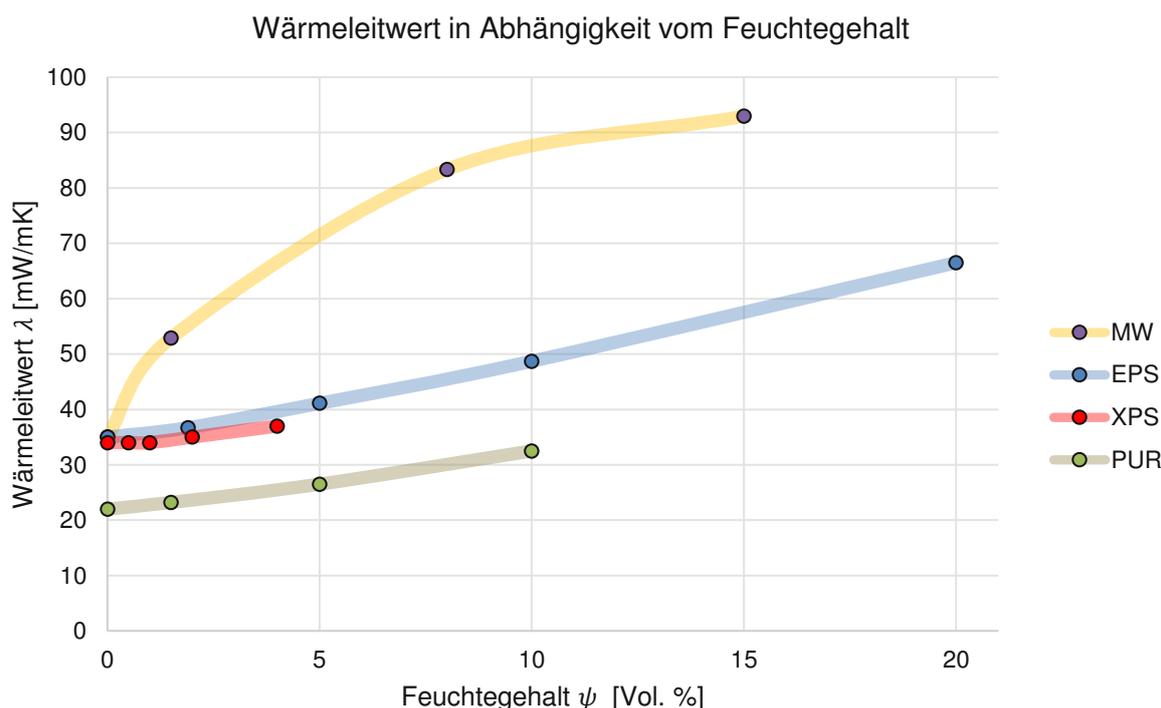


Abbildung 2.4: Wärmeleitwert häufig verwendeter Dämmstoffe in Abhängigkeit ihres Feuchtegehaltes [12, S. 77f]

In Abbildung 2.4 ist zu erkennen, wie sich die Wärmeleitfähigkeit eines gewissen Dämmstoffes mit dem Feuchtegehalt verändert. Bei Mineralwolle Dämmungen ist die Wasseraufnahme und somit die Verschlechterung der Dämmwirkung am deutlichsten ausgeprägt. XPS ist hingegen auch bei Vorhandensein von Feuchte grundsätzlich geeignet. Diese Daten werden in Kapitel 2.4 für die monetäre Auswirkung herangezogen.

Feuchte Dämmstoffe werden teilweise bewusst in Dächern gelassen und nicht saniert. Dies ist grundsätzlich nicht empfehlenswert. Ein (deutlich) erhöhter Wärmeverlust wird eintreten. Mineralwolle verliert mit steigender Feuchte ihre Druckfestigkeit und es sollten deswegen Verbesserungsmaßnahmen getroffen werden. Ebenso wird die Mineralwolle bei Feuchtebeanspruchung sehr schwer, weil das Wasser ähnlich wie bei einem Schwamm aufgesaugt wird. Deswegen wird bei der Entsorgung bei Mineralwolle hauptsächlich nach dem zu entsorgenden Gewicht (und nicht wie üblicherweise nach dem Volumen) abgerechnet, wodurch die Entsorgungskosten steigen. Verbleiben EPS oder PUR im nassen Aufbau ist die Gebrauchstauglichkeit des Daches zu beurteilen.

Anhand der oben dargestellten Wärmeleitfähigkeiten lassen sich die zugehörigen U-Werte in Abhängigkeit der jeweiligen Dämmstoffdicke berechnen. Mithilfe dieser soll die Gebrauchstauglichkeit beurteilt werden. Als Beurteilungsmaßstab wird die in der OIB-Richtlinie 6 (Energieeinsparung und Wärmeschutz) Punkt 4.4.1 [9, S. 5f] angeführte Anforderung herangezogen. Diese beträgt bei Flachdächern: U-Wert $\leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die genannte Anforderung ist bei Neubauten und Sanierungen (mit einigen Ausnahmen) der Berechnung zu Grunde zu legen und wird deswegen als Referenz verwendet. Ist demnach der U-Wert eines Daches aufgrund der Feuchteeinwirkung größer als die Anforderung, liegt ein nicht regelkonformer Aufbau vor. Wird der Feuchtegehalt gemessen, kann anhand Abbildung 2.5 diese Beurteilung einfach durchgeführt werden. Man erkennt in der Abbildung in Abhängigkeit des Feuchtegehaltes jene Wärmedämmung, die gerade noch die Anforderung nach der OIB-RL 6 erfüllt. Ein Beispiel soll diesen Umstand verdeutlichen.

Beispiel 1: Bei einem Flachdach mit 20 cm EPS Dämmung und einem Feuchtegehalt von 8,0 Vol.-% ist die Anforderung nicht erfüllt. Bei diesem Feuchtegehalt müsste die Dämmung mindestens 26 cm dick sein. Eine detaillierte Untersuchung ist in jedem Fall notwendig.

Überdies hinaus muss die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes zum Beispiel mithilfe eines Energieausweises beachtet werden.

Neben erhöhten Wärmeverlusten können auch weitere schadensträchtigere Folgen resultieren, die im Kapitel 2.3.2 dargelegt werden. Tritt ein Wasserschaden auf und wird der Grenzwert überschritten, ist eine Sanierung des Daches je nach Wärmedämmung und Konstruktionsaufbau sehr wahrscheinlich notwendig. Dies kann nur im Rahmen einer Begehung und einer darauf aufbauenden Analyse entschieden werden.

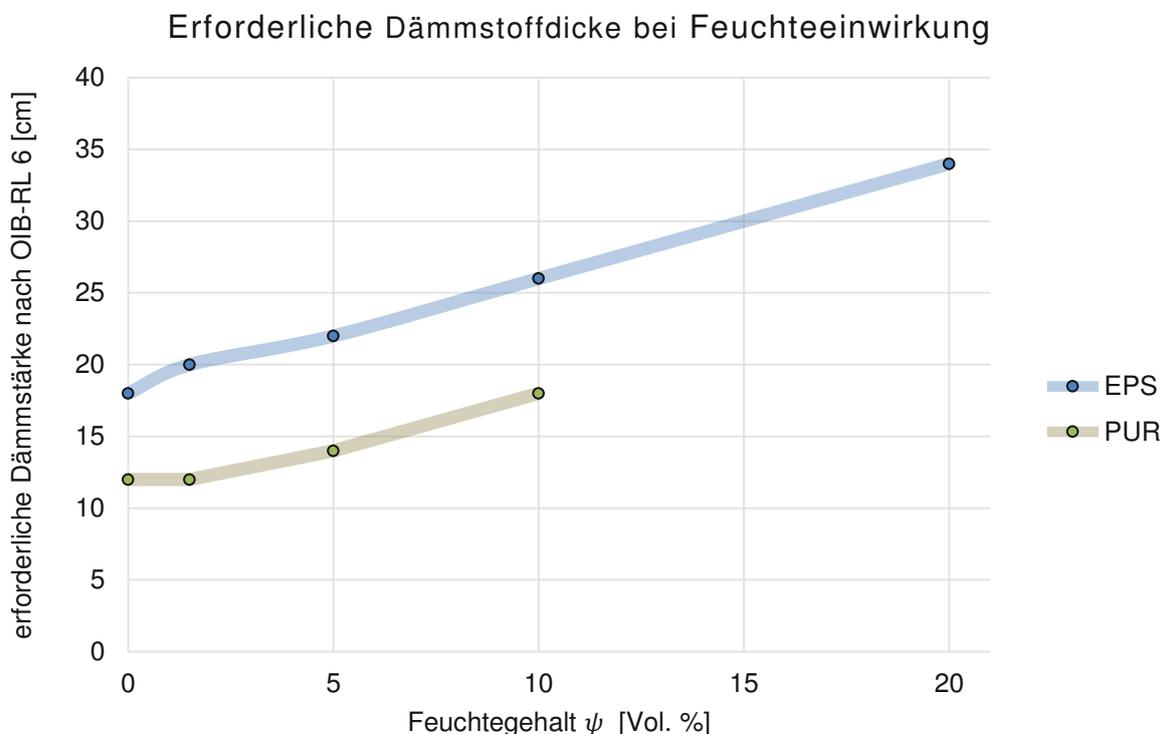


Abbildung 2.5: Erforderliche Dämmstoffdicke in Abhängigkeit von der Feuchte

2.1.5 Umnutzung von Gebäuden mit Flachdächern

Bei Umnutzungen kann es einerseits zu bauphysikalisch relevanten Änderungen oberhalb des Flachdaches kommen (siehe Nachträgliche Verschattung von Flachdächern Kapitel 3.2.3), andererseits auch zu selbigen unterhalb des Aufbaus. Wird beispielsweise ein Büroraum in eine Nasszelle umgebaut, ist mit erhöhter Diffusion in die Konstruktion zu rechnen. Nachträglich eingebaute Durchdringungen können die Dachqualität ebenfalls beeinflussen.

Kleine Änderungen, wie der Einbau einer Klimaanlage, können einen Einfluss auf das Flachdach haben. Vor allem die Leitungsführung durch das Dach und somit die luft- und winddichte Herstellung der Anschlüsse ist hier von essenzieller Bedeutung. Werden die Anschlüsse nicht normgerecht hergestellt, kann ein unentdeckter Schaden entstehen. Durch diverse Verkleidungen und Abhängungen kann auch die Zugänglichkeit beschränkt sein und somit eine aufwendige Schadensuche mit sich ziehen.

Wesentlich ist, dass bei jeder Art von Änderung die Dachabdichtung und die diffusionshemmenden Schichten langfristig nicht beschädigt werden.

2.2 Konventionelle Überwachung

Weil Feuchtigkeit im Dachaufbau häufig nicht zu vermeiden ist und nur unschädlich ist, solange die Dämmwirkung der Wärmedämmung und die Standsicherheit des Bauteils nicht gefährdet sind (beispielsweise das Verfaulen von Holzträger), ist eine gründliche Überwachung notwendig. [4, S. 34]

Gemäß ÖNORM B 3691 Punkt 5.4 sind jährliche Wartungs- und Inspektionsintervalle festgesetzt. Bei der Nutzungskategorie K1 kann das Intervall auf bis zu zwei Jahre verlängert werden. [6, S. 18]

Trotz klarer Empfehlungen und Richtlinien kommt es oft vor, dass das Flachdach in der Wartung und Pflege vernachlässigt wird. Auch im Gewährleistungszeitraum obliegt die Wartungspflicht dem Bauherrn. Wird dies nicht beachtet, so kann es zum Verlust von Ansprüchen kommen. [18, S. 18]

Tritt ein Schaden auf und hat man die ordnungsgemäße Wartung verabsäumt, so kann es auch zu Problemen mit der Versicherung kommen. [19]

Die konventionelle Überwachung umfasst im Wesentlichen Sichtprüfungen sowie Reinigungsarbeiten und Instandhaltungsmaßnahmen im kleinen Umfang. Durch die Sichtprüfungen kann der vorherrschende Feuchtezustand im besten Fall nur abgeschätzt werden bzw. nicht festgestellt werden. Eine exakte Überprüfung ist allein mit der Sichtprüfung nicht möglich. Die Feuchtigkeit verteilt sich nicht nur in besonnten und verschatteten Bereichen unterschiedlich, sie ist auch von der Jahreszeit und Temperatur abhängig. Deswegen ist eine genaue Aussage nur bei flächiger Messung möglich.

2.2.1 DIN 18531-4:2017 07 01 – Inhalte

In diesem Kapitel wird zuerst auf die Inhalte der DIN 18531-4 eingegangen. Im Anschluss wird der Inhalt diskutiert.

Die DIN 18531 ist eine Normenreihe mit dem Titel „Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen“. Für die Instandhaltung ist der vierte Teil von Bedeutung. Die aktuelle Fassung ist aus dem Jahr 2017.

Gemäß der DIN 18531-4 Punkt 5.1 wird die Instandhaltung in die drei folgenden Grundmaßnahmen eingeteilt: [20, S. 6]

- Inspektion
- Wartung
- Instandsetzung

Unter dem Term Inspektion versteht die DIN eine Sichtkontrolle zur Feststellung des Zustandes, der Funktion Abdichtung und der An- und Abschlüsse sowie der Entwässerungseinrichtungen. Diese Sichtkontrolle sollte mindestens einmal jährlich erfolgen. Darüber hinaus muss für Entwässerungseinrichtungen, wozu die Abdichtung nicht zählt, die Überprüfung mindestens zweimal jährlich durchgeführt werden. Die Ergebnisse sind schriftlich zu dokumentieren. [20, Punkt 5, S. 6f]

Als Wartung werden Maßnahmen zur Pflege und Reinigung der Abdichtung und der Entwässerungseinrichtungen definiert. Diese umfassen beispielsweise: [20, Punkt 5.3, S. 6]

- Beseitigung von unerwünschtem Pflanzenbewuchs
- Reinigung von Dachabläufen und Dachrinnen
- Beseitigung von Kiesverwehungen

Wie die Inspektion, sollte die Wartung einmal jährlich durchgeführt werden. Die Maßnahmen sollten dokumentiert werden. [20, Punkt 5, S. 7]

Die Instandsetzung beinhaltet sämtliche Maßnahmen zur Reparatur der Abdichtung und Entwässerungsanlagen. Auf die Instandsetzung wird im Rahmen der Sanierung im Kapitel 2.3 näher eingegangen. [20, Punkt 5.4, S. 7f]

2.2.2 Exkurs: Subjektiver Eindruck von Flachdächern

Für viele Menschen, vor allem private Bauherren, hat das Flachdach ein negatives Image. Den schlechten Ruf des modernen Flachdaches begründet die Wirtschaftswunderzeit in den frühen 1960er-Jahren. Der Bungalow war zu dieser Zeit das Statussymbol schlechthin. Der Bauboom zog eine gewisse „Experimentierfreudigkeit“ mit unerprobten Baustoffen und unerfahrenen Handwerkern nach sich. So wurde schon bald das Flachdach zum Synonym für undichte Dächer. [21]

Die Fachregeln und Vorschriften des Dachdeckerhandwerks und die Baustoffe haben sich seither erheblich weiterentwickelt und verbessert. Jedoch bleibt das Image bei vielen weiterhin erhalten. Für eine lange Nutzungsdauer und Zufriedenheit ist eine gewissenhafte Planung und Ausführung die Grundvoraussetzung. Darüber hinaus ist die oft vernachlässigte Wartung ein wesentlicher Bestandteil der geforderten Lebenserwartung. [21]

Mithilfe von Monitoringsystemen lässt sich dem ungewissen Dachzustand entgegensetzen, wodurch der ungewisse, subjektive Eindruck durch objektive Zahlen und Fakten ersetzt wird.

2.3 Sanierung

2.3.1 Leckageortung

Neben Monitoringsystem stehen im konventionellen Flachdachbau unter anderem folgende Möglichkeiten zur Leckageortung zur Verfügung: [22, S. 25f]

- Potenzialdifferenz-Messung, auch Elektroimpulsverfahren genannt
- Leopoma
- Rauchgas-Verfahren
- Tracergas-Verfahren
- Hochspannungs-Verfahren
- Nahtprüfsystem
- Radiometrie
- Thermografie

Diese Verfahren können im Rahmen der Wartung oder bei Verdacht auf einen Schaden angewendet werden. Im Zuge dessen kann die Fehlstelle beseitigt werden. Ist der Schaden jedoch schon fortgeschritten, werden in den meisten Fällen tiefgreifende Maßnahmen notwendig werden.

Jede Leckageortung hat nur beschränkte Aussagekraft über den Gesamtfeuchtezustand. Darüber hinaus können diese Verfahren keine Aussagen in Bezug auf die Rückrocknungsfähigkeit liefern.

Essenziell ist, dass die Verfahren zur Leckageortung Komplementärprodukte zu Monitoringsystemen sind und kein Substitut darstellen. Eine sinnvolle Leckageortung muss demnach in Kombination mit dem Monitoringsystem angewendet werden, um die größte Effizienz und Nutzungssicherheit zu gewährleisten. Nur Leckageortung per se zu betreiben, ist nicht ausreichend.

2.3.2 Mögliche Schäden und deren Behebung

Werden Undichtheiten nicht rechtzeitig entdeckt und behoben, können teure Schäden und aufwendige Sanierungen die Folge sein.

Wird beispielsweise Mineralwolle eingesetzt und diese auch nur leicht durchfeuchtet, wird sich die Druckbelastbarkeit reduzieren [23, S. 74]. Dies kann dazu führen, dass die ursprüngliche Lage nicht mehr gegeben ist. Die Abdichtung passt sich dem zwar an, aber das Wasser kann nicht mehr wie geplant abfließen. Ist eine undichte Stelle vorhanden, wird der Schaden somit immer größer.

Die Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit ist von den Bedingungen des Einzelfalls abhängig. Ein Austausch der Wärmedämmung muss dann erfolgen, wenn die Schädigung der Dachabdichtung aufgrund eines zu weich gewordenen Dämmstoffs oder eines lang anhaltend zu hohen Feuchtegehalts die Komponenten der Dachabdichtung bzw. Dachkonstruktion schädigen könnte oder der Wärmeschutz allein schon durch den Dickenverlust bei Mineralwolle merklich vermindert wird. [23, S. 75]

Als Alternative zum kompletten Austausch der Wärmedämmung kann das Aufbringen weiterer Schichten zielführend sein. Über bestehende Warmdachaufbauten dürfen weitere Schichten nur dann aufgebaut werden, wenn die Funktionstauglichkeit sichergestellt ist und der Bestand

keine Anzeichen von Fäulnis, Verlust von Druckfestigkeit oder Verrottung zeigt. [6, Punkt 5.7.4, S. 23]

Nicht nur Fehler in der Abdichtung können eine Sanierung notwendig machen. Beispielsweise wenn im Zuge der Herstellung die diffusionshemmenden Schichten fehlerhaft verbaut oder nachträglich beschädigt werden. Die Dampfbremse kann zwar die Geschwindigkeit des Wassereintritts verlangsamen, das Wasser aber nicht am Eindringen hindern. Die Folgen zeigen sich erst Jahre später. [5, S. 345]

Daraus folgt, dass viele Schäden an Flachdächern verhindert werden könnten, wenn der Zeitpunkt des Wassereintritts bekannt sein würde. Vergleichsweise einfache Methoden könnten angewendet werden, um die Leckage zu finden und zu beheben.

Eine Überprüfung, die einmal im Jahr durchgeführt wird, wenn sie überhaupt durchgeführt wird, ist zu wenig. Selbst mit den richtigen Methoden ist der Abstand der Untersuchung zu groß, wodurch sich Schäden im gefährlichen Ausmaß ausbreiten können.

Die Auswertung einer Umfrage der Forschungsinitiative Zukunft Bau, bei der 1406 Sachverständige befragt wurden, zeigt, dass feuchte Dämmstoffe in den letzten 10 Jahren häufig ausgetauscht wurden. Als Gründe wurden von den Sachverständigen die unklare Rechtslage bei (Folge-)Schäden, eine unzureichende Erfahrung bezüglich der Langzeitbewährung dieser Konstruktion, ungenaue Materialkennwerte feuchter Dämmstoffe und die Bedenkenanzeigen der Ausführenden und Auftraggeber genannt. [12, S. 27f]

2.4 Kosten

Von grundlegender Bedeutung ist es, zwischen Kosten und Preisen zu unterscheiden. Der Preis ist der Tauschwert einer Ware oder Dienstleistung am Markt. Er ist in der außerbetrieblichen Sphäre von Bedeutung. Kosten sind hingegen in der innerbetrieblichen Verrechnung relevant. [24, S. 28]

Die Kosten eines Flachdaches sind, wie auch andere Bauleistungen, nicht auf den Cent genau bestimmbar. Einerseits weil viele verschiedene Ausführungsvarianten und Materialien zum Einsatz kommen können und andererseits, weil jeder Unternehmer andere Dispositionen und Kostenansätze in Rechnung stellt. Darüber hinaus ist der Standort des Gebäudes ein wesentlicher Kosteneinfluss. Ebenfalls muss der Beschäftigungsgrad berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass ein m² Flachdach zum Beispiel bei einem Einfamilienhaus teurer sein kann als bei einem Krankenhaus, wo eine deutlich größere Menge verbaut wird. Ob das Dach neu errichtet oder im Zuge einer Sanierung ausgetauscht wird, ist ebenso von maßgebender Relevanz. Nachfolgend findet sich ein Überblick über die Einflussfaktoren auf die Kosten im Flachdachbau:

- Neubau oder Sanierung
- Art der Nutzung (Wohnbau, Industriebau, etc.)
- Standort
- Art und Menge der Materialien (Wärmedämmung, Abdichtung, etc.)
- Anzahl und Größe der Durchbrüche
- Art und Menge der Verblechung
- Nutzung und Anforderungen (welche wiederum Einfluss auf die Materialien usw. hat)
- Regelmäßig durchgeführte Wartungen

Die hohe Streuung der Kosten schlägt sich auch auf die Preise nieder. Mithilfe einer telefonischen Umfrage in ganz Österreich wurden 10 ausführende Unternehmen (Bauspengler und Dachdecker) befragt. Dies soll die große Streuung der Preise unterstreichen und einen ungefähren Eindruck der Ausführung geben. Nachstehend sind ausschließlich Preise angeführt.

Die Ergebnisse sind wie folgt:

- Ein Flachdach im Neubau ca. zwischen 100 €/m² und 500 €/m². Hierbei ist der gesamte Warmdachaufbau, die Hochzüge und die Verblechung etc. inkludiert.
- Bei einem Einfamilienhaus (180-200m²) wurde zum Zeitpunkt der Befragung (Juli 2020) ein Flachdach für rund 40.000 € (= ca. 220 €/m²) hergestellt. Dieses befindet sich im ländlichen Raum Niederösterreichs. Derselbe Unternehmer hat ein vergleichbares Dach in Wien für rund 65.000 € (= ca. 360 €/m²) gebaut.
- Ein Unternehmer bietet Flachdächer zu 400-500 €/m² an. Bei großen Mengen kann sein Preis bis auf 300 €/m² fallen.
- Flachdächer in hoher Ausführungsqualität erreichen eine Nutzungsdauer von rund 25-30 Jahren. Bei entsprechend niedriger Qualität sind auch weniger als 2 Jahre möglich.
- Teile von Sanierungsaufträgen werden dann in Regie durchgeführt, wenn der Umfang nicht im Vorhinein abschätzbar, wodurch der tatsächliche Aufwand vergütet wird.
- Nach einer Nutzungsdauer von 30 Jahren haben sich Anforderungen und Vorschriften stark verändert.
- Meistens werden bei K3 Dächern Abschottungen als (verpflichtete) Zusatzmaßnahme gewählt.

2.4.1 Einfluss des Feuchtegehalts auf die Energiekosten des Nutzers

Um den Einfluss einer feuchten Wärmedämmung auf die Energiekosten abschätzen zu können, werden die Forschungsergebnisse aus Abbildung 2.4 herangezogen. Dadurch ist es möglich, den durch die Feuchtigkeit verminderten U-Wert zu bestimmen.

$$U_{feucht} = \frac{\lambda_{feucht}}{d} \quad (2-1)$$

Wobei d die Dämmstoffdicke widerspiegelt. Bei der Berechnung wird, auf der sicheren Seite liegend, nur die Wärmedämmung des Daches berücksichtigt. Ausgehend vom U-Wert und der Heizgradtage (kurz HGT, aber auch Heizgradtagzahl genannt) des Standortes kann der erhöhte Energieaufwand quantifiziert werden. Diese wird in der ÖNORM H 5056-1 Punkt 3.25 [25, S. 9] wie folgt definiert:

„Summe der Temperaturdifferenzen zwischen einer bestimmten konstanten Raumtemperatur und dem Tagesmittel der Lufttemperatur, falls diese gleich oder unter einer angenommenen Heizgrenztemperatur liegt.“

Das Symbol $HGT_{20/12}$ wird üblicherweise verwendet, um die zugrunde liegenden Temperaturgrenzen darzustellen. Diese Schreibweise bedeutet: An den Tagen, bei denen die durchschnittliche Tagesaußentemperatur unter 12°C fällt, wird innen bis auf 20°C geheizt. Dies soll die Abbildung 2.6 unterstreichen.

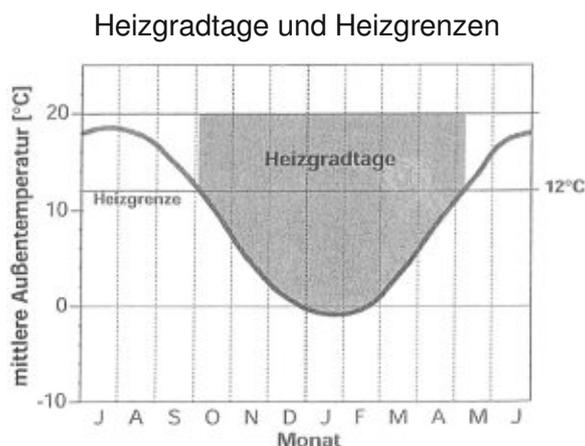


Abbildung 2.6: Heizgradtage und Heizgrenzen [26, S. 1]

Gem. ÖNORM H 5056-1 Punkt 8.2 [25, S. 107] sowie ÖNORM B 8110-5 Punkt 5.2.3 [27, S. 7] sind die $HGT_{22/14}$ der Berechnung zugrunde zu legen:

$$HGT_{22/14} = \sum_i (\vartheta_{i,h} - \vartheta_{e,i}) \cdot d_i \quad (2-2)$$

mit

$HGT_{22/14}$ Heizgradtage [K·d]

$\vartheta_{i,h}$ mittlere Innentemperatur [°C]

$\vartheta_{e,i}$ mittlere Außentemperatur des betrachteten Monats [°C]

d_i Anzahl jener Tage, für die gilt: $\vartheta_{e,i} < 14\text{°C}$

Die Heizgradtage werden in der Regel für ein Kalenderjahr berechnet und beispielsweise von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) ausgewertet. Dort kann man diese (kostenpflichtig) beziehen.

In Anlehnung an die ÖNORM B 8110-6-1 Punkt 5 [28, S. 9f] und unter Berücksichtigung von (2-1), (2-2) und der Dachfläche A lässt sich der zusätzliche jährliche Transmissionswärmeverlust [kWh] über das Flachdach folgendermaßen quantifizieren:

$$Q_{T,trocken} = U_{trocken} \cdot A \cdot HGT_{22/14} \quad (2-3)$$

$$Q_{T,feucht} = U_{feucht} \cdot A \cdot HGT_{22/14} \quad (2-4)$$

$$Q_{T,zusätzlich} = Q_{T,feucht} - Q_{T,trocken} \quad (2-5)$$

Mithilfe der Energiekosten je kWh und einem Ansatz für den Wirkungsgrad η der eingesetzten Heizungsanlage lässt sich der zusätzliche Energieaufwand monetär bewerten:

$$\text{jährliche Zusatzkosten} = \frac{\text{Energiekosten}}{\text{kWh}} \cdot \frac{Q_{T,zusätzlich}}{\eta} \quad (2-6)$$

Das folgende Beispiel, Beispiel 2, soll die Auswirkungen verdeutlichen. Dabei wurden folgende Parameter gewählt:

- Dachfläche $A = 250 \text{ m}^2$
- Standort: Salzburg (HGT = 3200 K·d)
- Heizungsanlage: Fernwärme ($\eta = 0,88$)
- Energiekosten: 0,08 €/kWh
- Dämmstoff: MW und EPS mit Eigenschaften aus Kapitel 2.1.4.
- Dämmstoffdicke: $d = 26 \text{ cm}$
- Feuchtegehalt: $\psi_{\text{MW}} = 15 \text{ Vol.-%}$; $\psi_{\text{EPS}} = 20 \text{ Vol.-%}$

Berechnung der Wärmeverluste bei MW Dämmungen:

$$U_{\text{trocken}} = \frac{\lambda_{\text{trocken}}}{d} = \frac{0,035}{0,26} = 0,135 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (2-7)$$

$$U_{\text{feucht}} = \frac{\lambda_{\text{feucht}}}{d} = \frac{0,092}{0,26} = 0,358 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (2-8)$$

$$\begin{aligned} Q_{T,\text{zusätzlich}} &= (U_{\text{feucht}} - U_{\text{trocken}}) \cdot A \cdot \text{HGT}_{22/14} = \\ &= (0,358 - 0,135) \cdot 250 \cdot 3200 \cdot 24 / 1000 = 4280 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \end{aligned} \quad (2-9)$$

$$\begin{aligned} \text{jährliche Zusatzkosten} &= \frac{\text{Energiekosten}}{\text{kWh}} \cdot \frac{Q_{T,\text{zusätzlich}}}{\eta} = \\ &= 0,08 \cdot \frac{4280}{0,88} = 389,10 \text{ €} \end{aligned} \quad (2-10)$$

Unter diesen Bedingungen kann bei Flachdächern mit MW ein erhöhter Feuchtegehalt zu zusätzlichen Kosten von bis zu rund 389,00 €/a (= 1,56 €/m²a) führen.

Berechnung der Wärmeverluste bei EPS Dämmungen:

$$U_{\text{trocken}} = \frac{\lambda_{\text{trocken}}}{d} = \frac{0,035}{0,26} = 0,135 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (2-11)$$

$$U_{\text{feucht}} = \frac{\lambda_{\text{feucht}}}{d} = \frac{0,066}{0,26} = 0,256 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (2-12)$$

$$\begin{aligned} Q_{T,\text{zusätzlich}} &= (U_{\text{feucht}} - U_{\text{trocken}}) \cdot A \cdot \text{HGT}_{22/14} = \\ &= (0,256 - 0,135) \cdot 250 \cdot 3200 \cdot 24 / 1000 = 2326 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \end{aligned} \quad (2-13)$$

$$\begin{aligned} \text{jährliche Zusatzkosten} &= \frac{\text{Energiekosten}}{\text{kWh}} \cdot \frac{Q_{T,\text{zusätzlich}}}{\eta} = \\ &= 0,08 \cdot \frac{2326}{0,88} = 211,47 \text{ €} \end{aligned} \quad (2-14)$$

Wird EPS eingesetzt sind demnach mit zusätzlichen Kosten von ca. 211,00 €/a (= 0,85 €/m²a) zu rechnen.

Wird beispielsweise eine Wärmepumpe ($\eta = 4$; 0,20 €/kWh) eingesetzt, müssen weniger monetäre Mittel aufgebracht werden. Bei MW ca. 214,00 €/a (= 0,86 €/m²a), bei EPS 116,00 €/a (= 0,47 €/m²a).

Abbildung 2.7 zeigt die zusätzlich aufzuwendenden, jährlichen Kosten pro Quadratmeter, die bei feuchter Wärmedämmung anfallen.

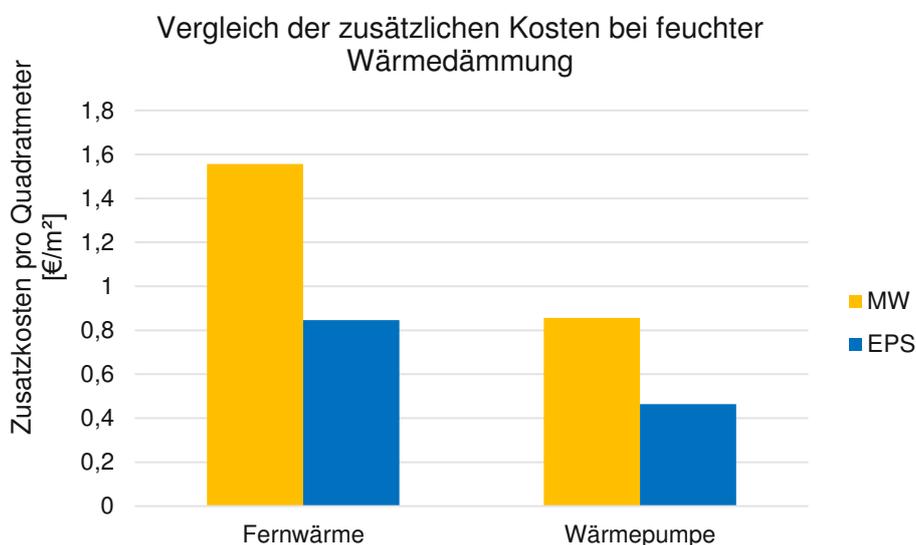


Abbildung 2.7: Vergleich der zusätzlichen Kosten in Abhängigkeit des Heizsystems und der Wärmedämmung

Zusammenfassend sind die zusätzlichen Kosten abhängig von:

- der Dachfläche
- dem Standort des Gebäudes
- der Art der Heizung
- dem Dämmstoff und dessen Rücktrocknungspotenzial laut Ist-Situation im Dachpaket
- der Dämmstoffdicke
- dem Feuchtegehalt
- der aktuellen Marktsituation und Auftragslage (zurzeit beispielsweise stark beeinflusst von der Corona-Pandemie)

2.5 Ökologie

Um die ökologischen Konsequenzen eines Flachdachbaus bewerten zu können, müssen zumindest zwei Auswirkungen beurteilt werden.

Einerseits ist der erhöhte Energieverbrauch bei feuchter Dämmung zu beurteilen, andererseits müssen der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf ($PEB_{n.e.}$) und das Treibhauspotenzial (GWP – Global Warming Potential) der eingesetzten Produkte bei ihrer Herstellung bis hin zu ihrer Verwertung betrachtet werden.

Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf schließt die gesamte Energie für den Bedarf einschließlich des Aufwandes für die Energieaufbringung (Herstellung, Transport) aus fossilen Brennstoffen und Kernenergie mit ein. [29]

Kohlendioxid ist das mengenmäßig wichtigste Treibhausgas. Ziel des Treibhauspotenzials ist es, die Treibhauseffekte aller Treibhausgase in nur einer Kennzahl zusammenzufassen. Dafür wird die Auswirkung eines Treibhausgases in dieselbe Auswirkung umgerechnet, die CO_2 hätte: [30, S. 9f]

$$GWP = \sum_i GWP_i \cdot m_i \quad (2-15)$$

mit

GWP Treibhauspotenzial [kg CO_2 -Äquivalent]

GWP_i Treibhauspotenzial der emittierten i-ten Substanz [CO_2 -Äquivalent]

m_i Masse der emittierten i-ten Substanz [kg]

Die österreichische Bundesregierung hat mit Ende 2019 einen umfassenden Plan zur Erreichung der Klimaziele 2030 nach Brüssel übermittelt. Darin ist die Bekennung zum Reduktionsziel von 36 Prozent gegenüber 1990 enthalten. [31]

Um dieses Ziel erreichen zu können, sollten deshalb auch Digitalisierungsmethoden im modernen Flachdachbau angewendet werden. Beispielsweise könnten Betriebe, die einen hohen CO_2 -Ausstoß verursachen, im Bereich ihrer Flachdächer Einsparungen erzielen und somit ihre Umweltbilanz verbessern.

Nicht nur aus persönlicher Überzeugung sollten CO_2 -Emissionen reduziert werden, sondern vor allem aufgrund der CO_2 -Zertifikate. Dies ist ein Zertifikat, welches ein Unternehmen berechtigt, eine gewisse Anzahl von Tonnen CO_2 zu emittieren. Unternehmen in der Industrie und Energiewirtschaft müssen für ausgestoßene Treibhausgase Zertifikate nachweisen. Hat ein Konzern zu wenige Zertifikate für die verursachten Emissionen, muss dieser welche zu kaufen oder Strafzahlungen leisten. Emittiert der Konzern weniger, kann dieser die Zertifikate verkaufen. Ziel des Systems ist es, den Treibhausgasausstoß in der Industrie und Energiewirtschaft durch vorher festgelegte Emissionsobergrenzen einzugrenzen. Zurzeit wird eine Tonne CO_2 um rund 25 € gehandelt, siehe dazu Abbildung 2.8. Übergangsweise können für bestimmte Anlagen aber auch noch kostenlose Zertifikate erworben werden. Wird die Anzahl der ausgegebenen Zertifikate verringert, steigt der Preis. Angebot und Nachfrage bestimmen den Preis. [32]



Abbildung 2.8: Verlauf des Preises für eine Tonne CO₂ in Euro [33]

Das deutsche Bundeskabinett hat ab 2025 den Preis für eine Tonne CO₂ mit 50,00 € festgesetzt. Im Folgejahr sollen Emissionszertifikate mit einem Preiskorridor von 55-65 Euro pro Stück versteigert werden. Ob die österreichische Regierung eine ähnliche Strategie verfolgt, ist zurzeit nicht bekannt und bleibt abzuwarten. [34]

Darüber hinaus wird auf politischer Ebene die sogenannte CO₂-Steuer immer wieder thematisiert. Wie die Ökologisierung des Steuersystems konkret aussieht oder aussehen kann, soll von einer Taskforce der Bundesregierung bis 2022 erarbeitet werden. [35]

2.5.1 Einfluss des Feuchtegehalts auf die Ökologie

Aus einer feuchten Wärmedämmung resultiert aufgrund des erhöhten Wärmeleitwertes nicht nur ein erhöhter Energieverbrauch, sondern auch eine damit verbundene erhöhte Umweltbelastung. Ist der erhöhte Energieverbrauch bekannt (Berechnung siehe 2.4.1) kann mithilfe von sogenannten Konversionsfaktoren auf den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf sowie auf das Treibhauspotenzial rückgeschlossen werden [9, Punkt 7, S. 11]. Diese berücksichtigen nur den Energiemehraufwand des Heizsystems und somit nicht die Herstellung der Produkte. Diese berechnen sich wie folgt:

$$PEB_{n.ern,jährlich} = \frac{Q_{T,zusätzlich}}{\eta} \cdot f_{PE,n.ern} \quad (2-16)$$

$$GWP_{jährlich} = \frac{Q_{T,zusätzlich}}{\eta} \cdot f_{CO2eq} \quad (2-17)$$

mit

$f_{PE,n.ern}$ Konversionsfaktor für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf [-]

f_{CO2eq} Konversionsfaktor für das Treibhauspotenzial [kg/kWh]

An dieser Stelle soll das Beispiel 2 von Kapitel 2.4.1 fortgeführt werden, um auch die Umweltbelastung bei einer feuchten Wärmedämmung greifbar zu machen.

Beispiel 2 Fortsetzung:

Bei einer Heizung mit Fernwärme ($f_{PE,n.ern} = 1,37$; $f_{CO_2eq} = 0,31$ kg/kWh) ergibt sich bei der jeweiligen Durchfeuchtung:

- MW: $PEB_{n.e.} = 6663$ kWh/a bzw. $GWP = 1507$ kg CO_2 -Äquivalent/a
- EPS $PEB_{n.e.} = 3621$ kWh/a bzw. $GWP = 819$ kg CO_2 -Äquivalent/a

Wird statt der Fernwärme eine Wärmepumpe ($f_{PE,n.ern} = 1,02$; $f_{CO_2eq} = 0,23$ kg/kWh) eingesetzt, ist die Klimabilanz deutlich besser:

- MW: $PEB_{n.e.} = 1091$ kWh/a bzw. $GWP = 243$ kg CO_2 -Äquivalent/a
- EPS $PEB_{n.e.} = 593$ kWh/a bzw. $GWP = 132$ kg CO_2 -Äquivalent/a

Erhöhte Wärmeverluste und Klimabelastungen, die aus einer feuchten Wärmedämmung resultieren, können durch ein Monitoringsystem gezielt vermieden werden.

2.5.2 Ökologische Konsequenzen im Lebenszyklus des Flachdachs

Um die Ökologie im Lebenszyklus eines Flachdaches beurteilen zu können, sind grundsätzlich der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf und das Treibhausgaspotenzial maßgebend. Die wichtigste Kennzahl, die die Umweltauswirkungen beeinflusst, ist jedoch die Nutzungsdauer. Für den $PEB_{n.e.}$ und den äquivalenten CO_2 -Ausstoß ist es irrelevant, wie lange ein Dach genutzt wird. Sie fallen stets in derselben Größe an, vorausgesetzt die Konstruktion ist dieselbe. Als Kriterium muss deshalb der jährliche $PEB_{n.e.}$ und das jährliche GWP herangezogen werden:

$$PEB_{n.e.,jährlich} = \frac{PEB_{n.e.}}{Nutzungsdauer} \quad (2-18)$$

$$GWP_{jährlich} = \frac{GWP}{Nutzungsdauer} \quad (2-19)$$

Beispiel 3: Das Flachdach A und Flachdach B sind baugleich. Sie haben deshalb, über den Lebenszyklus gesehen, denselben $PEB_{n.e.}$ und GWP:

$PEB_{n.e.} = 180$ MWh

$GWP = 17$ t CO_2 -Äquivalent

Das Flachdach A wird 20 Jahre genutzt. Das Ende des Lebenszyklus ist erreicht, es muss getauscht werden. Das Flachdach B war stets ordnungsgemäß gewartet, wodurch eine Verlängerung der Nutzungsdauer von beispielsweise 10 Jahren möglich war. Der Lebenszyklus beträgt somit 30 Jahre. Um eine Beurteilung durchführen zu können, muss die (theoretisch) jährliche Umweltbelastung berechnet werden.

$PEB_{n.e.,jährlich,A} = 180/20 = 9,00$ MWh/a

$PEB_{n.e.,jährlich,B} = 180/30 = 6,00$ MWh/a

$GWP_{jährlich,A} = 17/20 = 0,85$ t CO_2 -Äquivalent/a

$GWP_{jährlich,B} = 17/30 = 0,56$ t CO_2 -Äquivalent/a

Bei einer Verlängerung der Nutzungsdauer des Flachdachs von 10 Jahren ist sowohl beim $PEB_{n.e.}$ als auch beim GWP eine Einsparung durch die Nutzungsverlängerung von 33% möglich.

Das obige Beispiel verdeutlicht darüber hinaus, dass das Einsparungspotenzial lediglich von der Nutzungsdauer des Flachdachs abhängt. Allgemein lässt sich festhalten:

$$\text{Einsparungspotenzial} = 1 - \frac{\text{Nutzungsdauer IST}}{\text{Nutzungsdauer SOLL}} \quad (2-20)$$

Dies gilt ebenso bei einem eingetretenen Schaden, welcher einen kompletten Dachtausch erfordert.

Beispiel 4: Ein Flachdach soll planmäßig 30 Jahre genutzt werden. Nach 20 Jahren tritt ein massiver Feuchteschaden ein, der einen kompletten Tausch des Daches notwendig macht. Wäre kein Schaden eingetreten, hätte man $1 - 20/30 = 33\%$ an Umweltemissionen vermeiden können.

Die Formel 2-20 zeigt das Einsparungspotenzial bei reiner Verlängerung oder Verkürzung der Nutzdauer. Die vergleichsweise geringfügigen Maßnahmen, die zur Erhaltung notwendig sind, sind hierbei nicht inkludiert.

Zusammenfassend ist die Verringerung der Umweltauswirkungen wesentlich von der Nutzungsdauer des Daches abhängig. Der Dachzustand kann einerseits durch Monitoringsysteme mithilfe der täglichen Überprüfungs-messungen und andererseits durch eine schnelle, gewissenhafte Reparatur erhalten werden.

3 Das Monitoringsystem „Roof Protector“

Hersteller des sogenannten Roof Protectors, welcher dreifach patentiert ist, ist das Unternehmen RPM Gebäudemonitoring GmbH, deren Niederlassung sich im Frankenweg 2 in 9100 Völkermarkt, Österreich befindet. Am selben Standort befindet sich auch das Mutterunternehmen Eder Blechbauges.m.b.H.. Der Roof Protector basiert auf einem abgeschlossen Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit österreichischen Universitäten und anderen wissenschaftlichen Einrichtungen. [13]

Der Roof Protector ist ein modernes Überwachungssystem in Form eines Zylinders, der vertikal eingebaut wird. Durch dieses System können die auftretende Feuchtigkeitssituation sowie die Temperatur im Flachdach gemessen, ausgewertet und im zeitlichen Verlauf dargestellt werden. Bei einer Überschreitung von kritischen Grenzwerten wird dem Nutzer automatisch eine Meldung zum Beispiel per E-Mail zugesandt. Somit ist sichergestellt, dass bei entsprechender Leckageortung, welche durch den Roof Protector unterstützt wird, eine zielsichere und kostensparende Sanierung möglich wird. Teure Schäden, die erst Jahre nach dem ersten Eindringen von Wasser sichtbar werden, gehören somit der Vergangenheit an. [13]

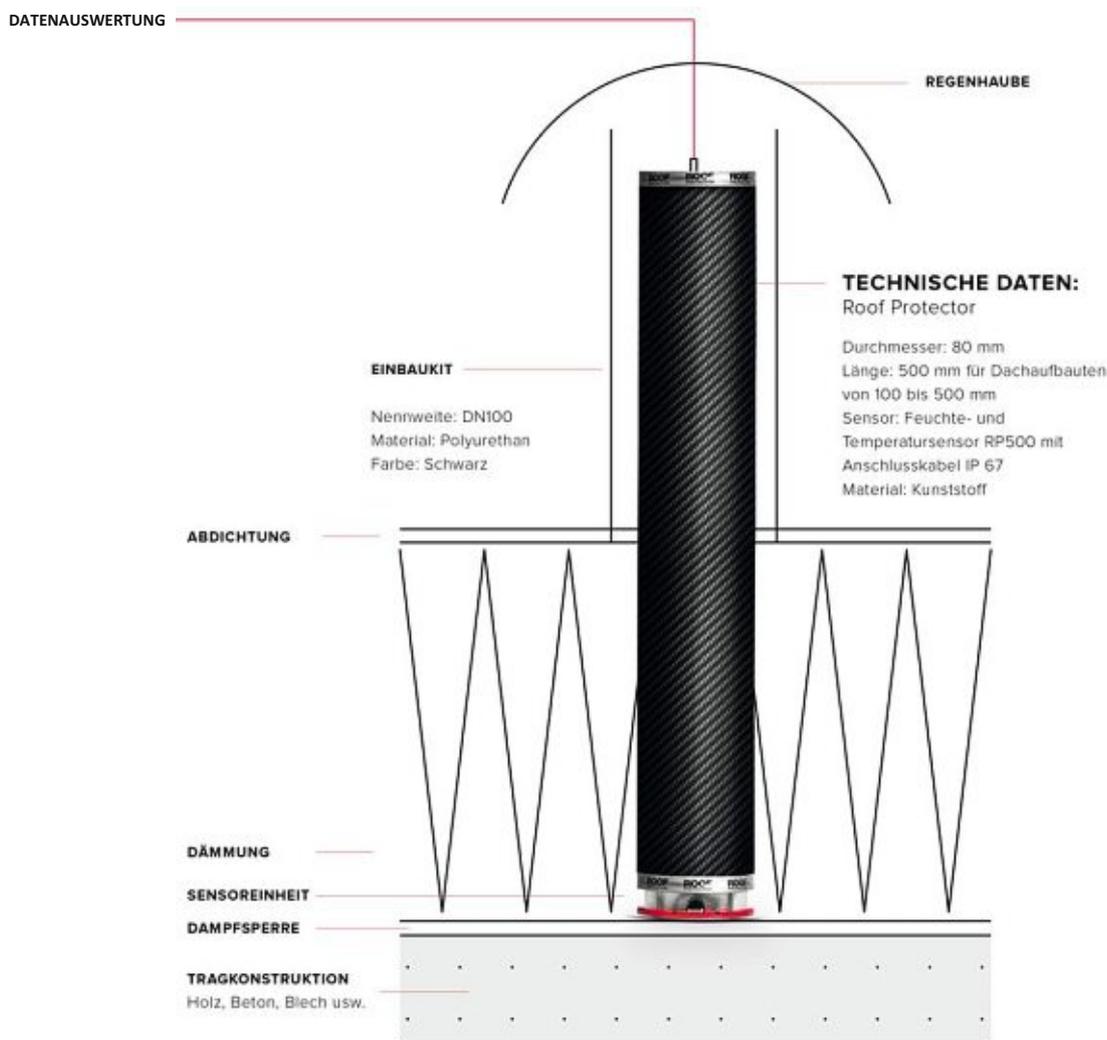


Abbildung 3.1: Einbausituation des „Roof Protectors“ [13]

3.1 Einbau des Roof Protectors

Grundsätzlich ist das System für Neubauten, als auch für Bestandsbauten geeignet. Der Einbauvorgang des Systems ist in beiden Fällen derselbe. Überblicksmäßig wird, wie in Tabelle 3.1 ersichtlich, zuerst ein Flachdachlüfter (siehe Abbildung 2.3) in den fertigen bzw. vorhandenen Aufbau eingebaut. Danach wird der Roof Protector im Flachdachlüfter verbaut. Der detaillierte Einbauvorgang ist wie folgt: [13]

- 1) Den Einbauort festlegen und freilegen (z. B. Kiesschüttung entfernen).
- 2) Eine Kernbohrung bis zur Dampfbremse ausführen und den Dämmkern entsorgen. Die Dampfbremse darf nicht beschädigt werden. Der Roof Protector hat einen Durchmesser von 80 mm.
- 3) Einen Flachdachlüfter (Nennweite DN 100 mm) mit passender Anschlussmanschette fachgerecht an die vorhandene Abdichtungsebene anschließen. Je nach Dicke des Dachaufbaus und Länge des Roof Protectors kann die Höhe des Flachdachlüfters angepasst werden.
- 4) Einsetzen des Roof Protectors mit anschließender Kalibrierung und Funktionskontrolle.
- 5) Aufsetzen der Regenhaube und räumen der Baustelle. Bei Kies- oder Gründächern den Dachaufbau oberhalb der Abdichtungsebene wiederherstellen.

Eine Anbindung des Roof Protectors an das örtliche Stromnetz ist nicht notwendig. Die Stromversorgung wird durch Industriebatterien (siehe Tabelle 3.1) sichergestellt. [13]

Ein einzeln verbauter Roof Protector kann eine Flachdachfläche von rund 250 m² abdecken. Bei jenen Flachdächern, die keine Gefälledämmung aufweisen (und demnach das Gefälle zum Beispiel durch die Konstruktion oder den Gefällebeton hergestellt wird), sollte man besonderes Augenmerk auf die Anordnung legen. Hier gilt der Grundsatz, dass die Sensoreinheiten an den tiefsten Stellen verbaut werden sollen. Generell ist festzuhalten, dass an besonders gefährdeten Orten (zum Beispiel, wenn sensible Technik in den unterhalb liegenden Räumen verwendet wird oder bei kritischen Anschlussdetails) ebenfalls der Einbau einer Messeinheit empfohlen ist.

Ist der Roof Protector eingebaut, wird vor Ort eine Kalibrierung vorgenommen. Das System wird auf die Art des Dämmmaterials beim Einbau und die geografische Lage des Bauvorhabens programmiert und abgestimmt. Die produktspezifische Kalibrierung wurde in einem Forschungsprojekt für die wesentlichen Materialien untersucht, um aussagekräftig reagieren zu können.

3.2 Feuchte- und Temperaturmonitoring

Der Roof Protector ermöglicht eine permanente Feuchtigkeits- und Temperatureaufzeichnung. Unter Monitoring versteht man in diesem Zusammenhang die Überwachung dieser Aufzeichnungen. Das Gegenteil dazu ist die Messung vor Ort.

Die aufgezeichneten Messwerte werden per „Global System for Mobile Communication“ (GSM) an die unternehmenseigene Cloud, die sogenannte RPM Cloud, übermittelt. Diese Datenfernübertragung ermöglicht es, die Messwerte via Smartphone, Tablet oder PC auszuwerten. Dies funktioniert über ein Webportal, welches rund um die Uhr abrufbar ist. Der Roof Protector ist überdies mit einem GPS-Tracker ausgestattet. Sind also mehrere Roof Protectors verbaut, ist das zu den jeweiligen Daten zugehörige Gerät über diesen GPS-Tracker zweifelsfrei lokalisierbar. Werden vordefinierte Grenzwerte der Feuchtigkeit oder Temperatur überschritten, informiert das System die zuständige Person via E-Mail über die vorherrschende

Situation. Alternativ zur Messung mit dem Funkmodul kann auch mit einem Handgerät vor Ort gemessen werden. [13]

Die Messung erfolgt in der Sensoreinheit, welche am Fuß des Roof Protectors angeordnet ist. Diese Einheit misst die Feuchte anhand einer Widerstandsmessung. Das Prinzip der Widerstandsmessung beruht auf der Tatsache, dass ein höherer Feuchtigkeitsgehalt respektive ein höherer Wasserstand einen geringen elektrischen Widerstand mit sich bringt. Somit lässt sich in Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes und des eingesetzten Dämmstoffes, welche aufeinander kalibriert sein müssen, eine konkrete Aussage über die Feuchtigkeitssituation treffen. [22, S. 40]

Die empfohlenen Messintervalle sind vier Messungen pro Tag [22, S. 41]. Sinnvoll zu erreichen ist dies nur mittels eines Monitorings. Eine grafische Darstellung von Messwerten zufolge des Monitorings ist beispielsweise in Abbildung 3.2 dargestellt.

3.2.1 Technische Daten

Die relative Luftfeuchtigkeit kann den Feuchtigkeitszustand im Flachdach nicht zufriedenstellend wiedergeben, weil bei einer etwaigen Sättigung, also bei 100 Prozent relative Luftfeuchte, die Systeme den darüber hinausgehenden Feuchtegehalt nicht messen können. Deswegen bedient man sich der Hilfe von sogenannten Digits. Diese sind definierte Skalenwerte von 0 bis 100, die es unter anderem ermöglichen, den Wasserstand abzubilden.

Die technischen Details des Roof Protectors finden sich in Tabelle 3.1.

Sensoren	Feuchtigkeitssensor	
	Temperatursensor	
Messbereiche	Feuchtigkeit:	0-100 Digit
	Temperatur innen:	-50 bis +50 °C in Flüssigkeiten -50 bis +105 °C in Luft
	Temperatur außen:	-20 bis +50 °C
Log-Intervall	1-mal täglich	
Sende-Intervall	1-mal täglich	
Energieversorgung	4 Stück AA-Batterien Alkali-Mangan, Industrial 1,5 V	
Übertragung	Internes GSM-Modul	
	SIM Slot	
	GPS-Modul	
Sensor-Anschluss	IP67 Steckverbinder 6-polig – M8	

Tabelle 3.1: Technische Daten des Roof Protectors [13]

3.2.2 Rücktrocknung und Feuchtigkeitsgehalt im Zuge der Herstellung

Durch den Einsatz des Roof Protectors ist es möglich, das natürliche Rücktrocknungspotenzial der Dachkonstruktion und besonders der Dämmungen optimal zu nutzen und zwar ohne klimaschädigende Folgekosten. Dies wird erst mithilfe der ständigen Überwachung möglich. Der Feuchtezustand im Dachpaket ist somit immer bekannt und es können daher zweifelsfreie Rückschlüsse auf die Schädigung durch die Feuchte gezogen werden.

Die Vorteile der Digitalisierung werden auch bei der Herstellung des Daches sichtbar. Der Dachzustand ist sofort nach dem Einbau der Roof Protectoren ersichtlich. Dadurch kann man den Feuchtezustand des Daches als einen Parameter betrachten, der zu einer qualitativ

hochwertigen Ausführung beiträgt. Leckagen können zeitnah registriert und ausgebessert werden, ohne die Schädigung der darunterliegenden Schichten zu riskieren.

Aus der Digitalisierung des Flachdaches resultieren zahlreiche weitere Vorteile, die taxativ in Kapitel 3.5 aufgelistet sind.

In der nachstehenden Tabelle 3.2 ist der Vergleich der herkömmlichen Herstellung (siehe Kapitel 2.1.3), insbesondere der Wasserprobe mit Monitoringsystemen dargelegt.

	Vorteile	Nachteile
Wasserprobe	<ul style="list-style-type: none"> • einfach durchführbar • kostengünstig, solange das Dach keine Leckage aufweist 	<ul style="list-style-type: none"> • massiver Wassereintrag bei einer Leckage • Schaden ist schwer zu lokalisieren • lange Wartezeit • nur bei entsprechender Attika • hohe Wasserlast • hoher Wasserverbrauch • mögliche Zerstörung der Dachabläufe
Monitoring-system	<ul style="list-style-type: none"> • vereinfachte Schadenslokalisierung • schnelles Ergebnis • genaue Kenntnis über den Dachzustand rund um die Uhr • keine Beschau vor Ort notwendig • kein Wassereintrag • wesentlich kostengünstiger bei undichtem Dach • Rückrocknung kontrollierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • kostenintensiver bei dichtem Flachdach

Tabelle 3.2: Vergleich der Wasserprobe mit modernen Monitoringsystemen

3.2.3 Nachträgliche Verschattung von Flachdächern

In vielen Fällen werden auf Flachdächern bei bestehenden Gebäuden Solar- oder PV-Anlagen nachträglich angebracht. Dies kann aufgrund der entstehenden Verschattung des Flachdaches zu einer dauerhaften Feuchtigkeitsansammlung und somit zu teuren Schäden führen. Vor allem Flachdächer mit Untergründen aus Holz (Holzschalungen, Brettschichtholz- oder Kreuzlagenholz-Platten etc.) sind besonders schadensanfällig.

Die Behinderung der solaren Strahlung durch die PV-Elemente bewirkt eine geringe Oberflächentemperatur der Dachhaut und dadurch eine geringere Rückrocknung von Feuchtigkeit aus dem Gefach. Um diese ungünstige Situation zu entschärfen, wird der Einbau einer Zusatzdämmung empfohlen, welcher zu Mehrkosten führt. [36, S. 16]

Wird bei einem bestehenden Gebäude der Roof Protector bereits verwendet und ohne bauphysikalische Beratung eine Solar- oder PV-Anlage installiert, wodurch die Oberflächentemperatur der Dachhaut zu weit abgesenkt wird, sodass sich ein kritischer Feuchtigkeitsgehalt

ergibt, wird der Nutzer gewarnt und dadurch kann dieser entsprechende Maßnahmen ergreifen.

Bei einer nachträglichen Installation von Solar- oder PV-Anlagen, kann eine messtechnische Zustandsüberprüfung technisch und wirtschaftlich zweckmäßig sein. Der Roof Protector kann in solch einem Fall Entscheidungsgrundlagen liefern. Daraus lässt sich beispielsweise indizieren, ob es sinnvoll ist, eine Zusatzdämmung und eine zweite Abdichtungsebene schon bereits vor Installation der PV-Anlage einzubauen oder ob diese gegebenenfalls eingespart werden können. So ist es möglich, dass schon bereits vor einem möglichen Schaden das Risiko und die eingesetzte Investition erheblich reduziert werden. Auf jeden Fall aber, hat man mit dem Einbau eines Monitoringsystems Gewissheit, dass der vorhandene Aufbau unter den gegebenen Randbedingungen funktioniert und ist, auch ohne Zusatzmaßnahmen, immer noch in der Lage bei Feuchtigkeitsüberschreitungen entsprechend zu agieren, bevor größere Schäden entstehen.

An dieser Stelle ist auf die Schadensanfälligkeit von nicht nachweisfreien Konstruktionen gem. ÖNORM B 8110-2 Punkt 8 [8, S. 15f] hinzuweisen. Bei diesen Konstruktionen können etwaige Ausführungsmängel oder nicht geplante nachträgliche Verschattungen weitreichende Auswirkungen haben, vor allem dann, wenn sich die Feuchtigkeit unbemerkt aufbauen kann.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bei einem nachträglichen Einbau von Solar- oder PV-Anlagen auf Flachdächern grundsätzlich eine bauphysikalische Betreuung anzuraten ist. Wird ein Monitoringsystem eingesetzt, können zusätzlich zu den üblichen Vorteilen der Digitalisierung der Gebäudehülle auch die Investitionskosten, wie oben beschrieben, gesenkt werden.

Dieses beschriebene Phänomen gilt analog für nachträgliche Bekiesungen und Begrünungen.

In nachfolgender Abbildung 3.2 ist ein beispielhafter Vergleich zwischen einem verschatteten und einem nicht verschatteten Flachdach dargestellt. Dies wurde mithilfe des Roof Protectors aufgezeichnet. Der kritische, verschattete Zustand zeigt einen geringeren Temperaturverlauf, wodurch jedoch die Luftfeuchten stark ansteigen.

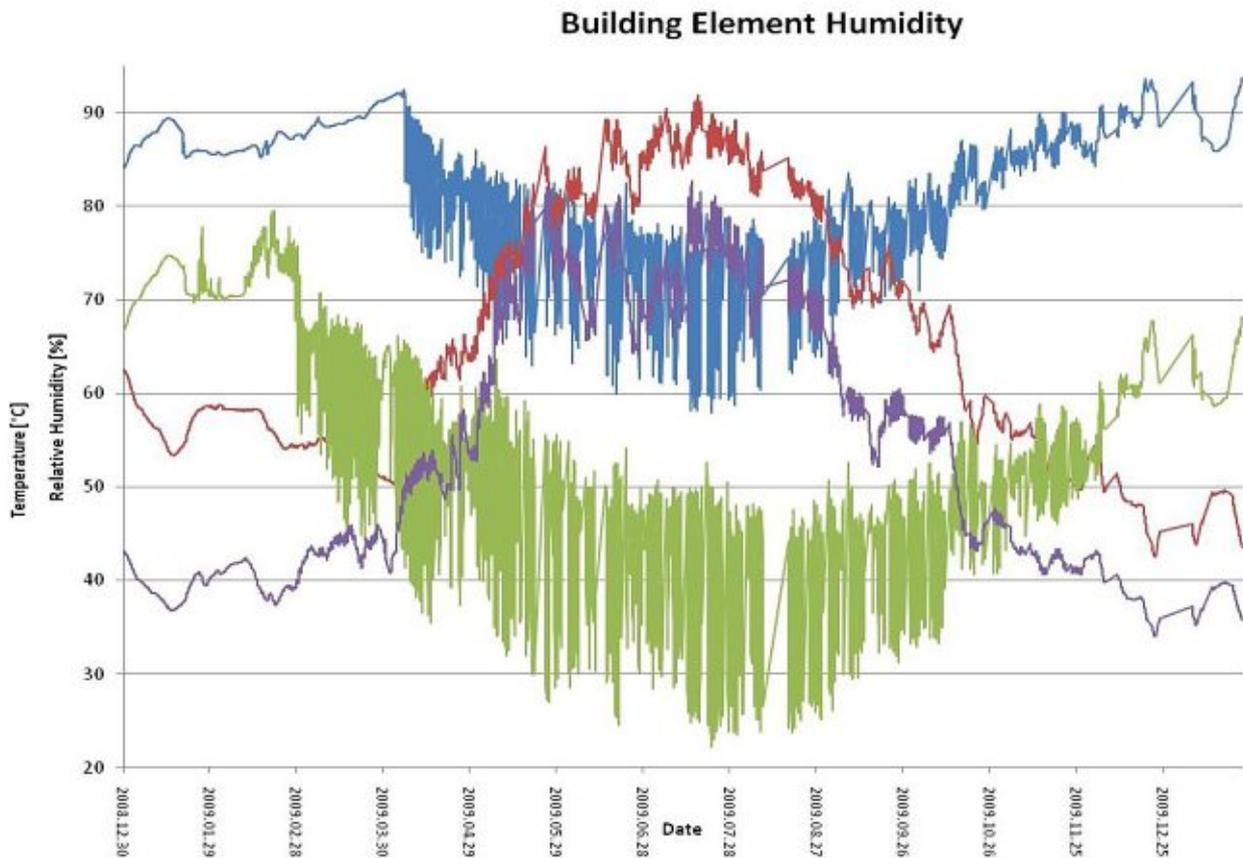


Abbildung 3.2: Ergebnis des Monitorings bei einem verschatteten und nicht verschatteten Flachdach [13]

Flachdach verschattet	Flachdach nicht verschattet
 Temperatur T_2 [°C]	 Temperatur T_1 [°C]
 Relative Luftfeuchte φ_2 [%]	 Relative Luftfeuchte φ_1 [%]

Tabelle 3.3: Legende zur Abbildung 3.2

3.3 Sanierung

3.3.1 Leckageortung

Werden mehrere Roof Protectors eingesetzt, ist es möglich, nicht nur Monitoring zu betreiben, sondern auch durch Inter- und Extrapolation auf Feuchtezustände zwischen und abseits der Messstationen rückzurechnen. Somit ist es möglich, die Leckageortung auf gewisse Bereiche einzuschränken. In diesen werden im Regelfall zusätzlich die beschriebenen Methoden aus Kapitel 2.3.1 notwendig.

Beispiel 5: Ein Flachdach mit 2500 m² wird mit Roof Protectors ausgestattet. Ein Messgerät deckt rund 250 m² ab, womit 10 Roof Protectors verbaut werden. Sofort und somit noch vor der Bauabnahme ist es möglich, die korrekte Herstellung und Dichtigkeit zu überprüfen. Wird beispielsweise im Gewährleistungszeitraum ein Schaden detektiert, erhalten die zuständigen Personen eine E-Mail. Dort ist der überschrittene Messwert und der zugehörige Roof Protector vermerkt. Unverzüglich kann die

Umgebung des alarmierenden Roof Protectors untersucht werden, um Schäden zu verhindern. Aufgrund der unmittelbaren Lokalisierung des Schadens, müssen somit nicht die ganzen 2500 m² auf Leckagen geprüft werden, sondern lediglich 250 m². Das entspricht 10% der ursprünglichen Fläche. Infolgedessen werden Kosten bei der Behebung eingespart.

Klar ist, je größer die Dachfläche, desto mehr kann man von diesem Umstand profitieren und infolgedessen sparen. Dies soll die folgende Abbildung 3.3 unterstreichen.

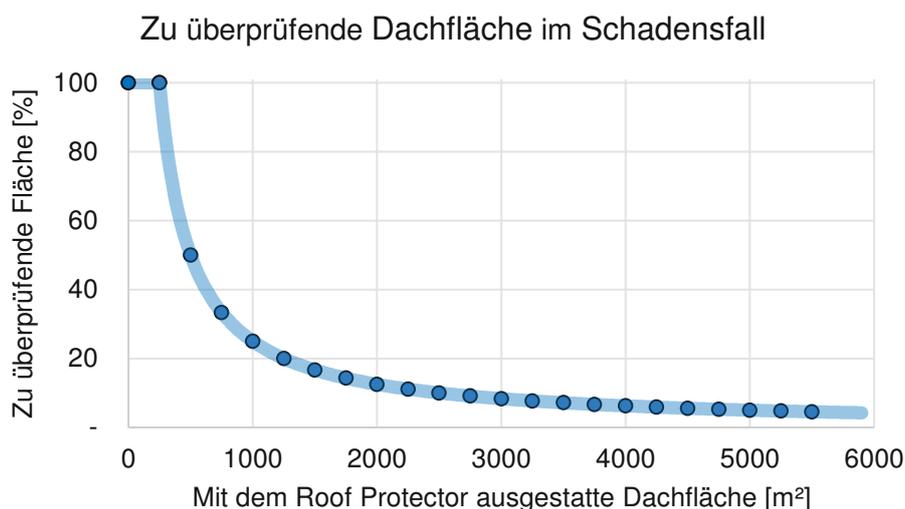


Abbildung 3.3: Zu überprüfende Dachfläche im Schadensfall

3.3.2 Mögliche Schäden und deren Behebung

Wird der Roof Protector verbaut, entspricht dies einer kompletten digitalen Überwachung. Ist eine Undichtheit erkennbar, werden die zuständigen Personen informiert. Diese können die weiteren notwendigen Maßnahmen treffen.

Im Rahmen eines Kaufs des Roof Protectors gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie mit der Haftung von Schäden umgegangen wird. Diese Möglichkeiten können eine unternehmerseitige Verlängerung der Gewährleistung oder beispielsweise eine Garantie der Dachdichtheit auf eine bestimmte Zeit sein. Ebenso wird es in Zukunft möglich sein, Flachdächer gegen Feuchteschäden versichern zu lassen. Selbstverständlich nur unter Einsatz eines Monitoring-systems.

Aktuell bezahlen Versicherungen meist nur Schäden, die infolge von Unwettern auftreten. Eine Frage der Beweisbarkeit sowohl aufseiten der Versicherung als auch des Versicherten ist die Folge. Unabhängig davon, ob ein eventueller Versicherungsfall vorliegt, gilt, wer den Schaden möglichst zeitnah feststellt und dokumentiert ist im Vorteil. Dies ist beispielsweise mithilfe von handgeschriebenen Berichten, Fotos oder Dachscans durchzuführen. Versicherer empfehlen: Hausbesitzer und Betroffene sollen nach einem Sturm dem Dach besondere Aufmerksamkeit schenken sowie dieses überprüfen. [37]

Versicherer zeigen sich offen gegenüber elektronisch basierter Kontrollsysteme. Die Sensorik kann nicht nur die Dokumentation von Schadensfällen im Flachdach übernehmen, sondern auch finanzielle Anreize für den Kunden liefern. Zukünftig wird intelligente Technik einen

deutlichen Einfluss auf die Prämienfaktoren, auch in der Gebäudeversicherung, haben. Die Folge ist eine weitaus individuellere Kalkulation des Risikos. [37]

Teure Sachverständigengutachten bei der Bauabnahme können zukünftig entfallen, jedoch wird die fachgerechte Ausführung auch weiterhin von Menschen zu beurteilen sein. Dementsprechend kann die einhundertprozentige Dichtheit von Beginn an nicht zweifelsfrei gewährleistet werden. Für eine schnelle und zielgerichtete Kontrolle des Dachzustands bei der Abnahme ist ein Monitoringsystem geeignet. Durch aktive Messprotokolle kann klar dokumentiert werden, in welchem Zustand sich das Warmdachpaket nach Fertigstellung der Arbeiten befindet. Die Alarmierung erfolgt nach kalibrierten Feuchtekenwerten in Bezug auf das Risikopotenzial.

Auch in Fällen, bei welchen der aktuelle Dachzustand nicht genau festgestellt werden kann oder die Dachreparatur überprüft werden soll, kann die Digitalisierung helfen. Für diese Fälle gibt es zugeschnittene Pakete für Dachdecker und Sachverständige, die Monitoringsysteme auf eine bestimmte Zeit mieten können. Somit sind sie in der Lage, ihre Arbeit bzw. Gutachten zu überprüfen, zu verifizieren, zu dokumentieren und falls notwendig, zielgerichtet einzugreifen.

3.4 Kosten des Systems

Die nachfolgenden angegebenen Preise beziehen sich auf den Zeitpunkt des Druckes der vorliegenden Arbeit. Je nach Ausmaß der Dachfläche kostet ein Roof Protector, der ca. 250 m² Dachfläche abdeckt, rund € 1.000,- inkl. USt und Einbau. Hierbei ist das zeitabhängige Monitoring jedoch nicht inkludiert. Dieses ist nur in Kombination mit sogenannten „Monitoring Packages“ erwerbbar. Die Monitoring Packages sind zurzeit in drei Varianten verfügbar. Je nach Variante ergeben sich unterschiedliche Dienstleistungen, welche zusammen mit dem Preis in der Abbildung 3.4 ersichtlich sind. Die Preise beziehen sich auf einen Roof Protector. [13]

BASIC	BESTSELLER PROFESSIONAL	BUSINESS
✓ Web-Live-View	✓ Web-Live-View	✓ Web-Live-View
✓ Lizenz – Server und Software	✓ Lizenz – Server und Software	✓ Lizenz – Server und Software
✓ Alarmierung per E-Mail	✓ Alarmierung per E-Mail	✓ Alarmierung per E-Mail
✓ 1 Kundenlogin	✓ 5 Kundenlogins	✓ unbegrenzte Kundenlogins
✓ Datenübermittlung M2M	✓ Datenübermittlung M2M	✓ Datenübermittlung M2M
x Cloudspeicher	✓ Cloudspeicher 1 Jahr	✓ Cloudspeicher 2 Jahre
x Web-Konfiguration	✓ Web-Konfiguration	✓ Web-Konfiguration
x Web-Monitoring	✓ Web-Monitoring	✓ Web-Monitoring
x Telefonsupport	x Telefonsupport	✓ Telefonsupport
x Alarmverwaltung	x Alarmverwaltung	✓ Alarmverwaltung
x Userverwaltung	x Userverwaltung	✓ Userverwaltung
x Datenauswertung	x Datenauswertung	✓ Datenauswertung
€1,5/MONAT*	€2,5/MONAT*	€4/MONAT*

* pro Sensor

Abbildung 3.4: Monitoring Packages [13]

Eine interessante Option, unter anderem für Gutachter, könnte die temporäre Nutzung von Monitoringsystemen darstellen. Dies ist ähnlich zu einer etwaigen Gerätemiete. Hierbei kann in Abhängigkeit des individuellen Überwachungszeitraums eine messtechnische Unterstützung bezogen werden. Die Preise in Abbildung 3.5 verstehen sich ohne Ein- und Ausbau. Der Preis wird, bezogen auf ein Monat, mit zunehmendem Überwachungszeitraum preiswerter.

Exkurs – zusätzliche Leistungen zur Dachüberwachung, Dokumentation und Auswertung der RPM Gebäudemonitoring GmbH:

- Monitoringkonzepte
- Leckageortungen mit an die Randbedingungen angepassten Verfahren
- Feuchtraum- und Bauwerksüberwachung
- Holzfeuchtemonitoring
- Drohnenflug und Photogrammetrie

ÜBERWACHUNGSZEITRAUM 3 MONATE	ÜBERWACHUNGSZEITRAUM 6 MONATE	ÜBERWACHUNGSZEITRAUM 12 MONATE
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Messequipment ✓ Web-Live-View ✓ Alarmierung per E-Mail ✓ Datenübermittlung M2M ✓ Web-Monitoring ✓ Telefonsupport ✓ Datenauswertung 	BESTSELLER	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Messequipment ✓ Web-Live-View ✓ Alarmierung per E-Mail ✓ Datenübermittlung M2M ✓ Web-Monitoring ✓ Telefonsupport ✓ Datenauswertung
€159/SENSOR*	€259/SENSOR*	€499/SENSOR*
* exkl. Ein- und Ausbau		

Abbildung 3.5: Temporäre Nutzung des Roof Protectors beispielsweise für Sachverständige [13]

3.5 Anwendungsmöglichkeiten und technische Grenzen

Der Roof Protector eignet sich für folgende Anwendungen: [13]

- Langzeitmonitoring: 24/7/365
- Reparatur: messtechnische Nachweise einer (erfolgreichen) Dachreparatur
- Bauabschnittsüberwachung: Beweissicherung bei Beschädigungen gegenüber Dritten
- Gutachten: messtechnische Nachweise über den Dachzustand und der Rücktrocknung
- Dachbeurteilung: Beurteilungshilfe für zukünftige Sanierungen
- Ergänzende Lösung zu einem modernen Dachwartungskonzept

Daraus resultieren im Vergleich zur herkömmlichen Herstellung und der, in der Regel, jährlichen Kontrolle folgende Vorteile:

- Vereinfachte Bauabnahme
- Entfall von tradierten, schädlichen Bauprozessen (wie zum Beispiel der Wasserprobe)
- Kein Imageschaden des ausführenden Unternehmens
- Reduzierte Sanierungskosten durch frühzeitiges Erkennen des Schadens
- Kostenersparnis bei der Leckageortung
- Rasche und zielsichere Reparatur
- Keine erhöhten Heizkosten
- Optimale Abstimmung der Reparaturen auf den Dachzustand
- Verbesserung des ökologischen Fingerabdrucks
- Einsparung von CO₂-Zertifikaten

- Erhöhung der Nutzungsdauer des Daches
- Erhöhung der Nutzungskategorie K2 auf K3 gem. ÖNORM B 3691
- Keine Mietverluste aufgrund von Mietminderungen
- Keine Produktionsunterbrechungen bei Industriebauten
- Keine Zerstörung der Dämmebene
- Vermeidung von statischen Problemen
- Gewissheit der Dichtheit des Daches und des aktuellen Dachzustandes
- Messtechnischer Nachweis des Dachaufbaus
- Möglichkeit zur Nachverfolgung der Rücktrocknung durch häufige Messungen
- Generierung von Messdaten für
 - eine Analyse,
 - zukünftige Projekte oder
 - Verkauf an Interessenten beispielsweise Versicherungen
- Automatisierte Dokumentation und Beweissicherung für
 - die Umsetzung von Gewährleistungsansprüchen
 - Nachweise gegenüber Versicherungen

Bei folgenden Anwendungsgebieten sollte man auf andere Monitoringsysteme, wie zum Beispiel Flachbandsensoren, umsteigen:

- Terrassenaufbauten
- Aufbauten, außer der Warmdachaufbau: Kaltdächer, Steildächer, etc.
- Nasszellen
- Industriebauten mit kurzer Nutzungsdauer
- Gebäude untergeordneter Bedeutung
- Holzfeuchtemonitoring

3.6 Kundenbefragung und Zufriedenheitsanalyse

Die Befragung wurde mit einem internationalen Handelskonzern schriftlich per E-Mail durchgeführt.

Was war Ihre Motivation Monitoringsysteme und speziell den Roof Protector einzubauen?

Gewährleistungsansprüche wahren, Risiko minimieren – bis dato ist mir nur das System „Roof Protector“ bekannt.

Was ist Ihr Fazit zum Roof Protector?

Im Prinzip ist es ein einfaches System für eine annähernd 100% Überwachung einer Dachfläche in Bezug auf Be-/Durchfeuchtung. Die Herstellungskosten sind leider im oberen Preissegment angesiedelt. Man darf die laufenden Jahreskosten auch nicht außer Acht lassen, wobei man sagen muss, dass sich über die Jahre gesehen bei dem rechtzeitigen Erkennen nur 1nes Wassereintritts sich diese sicherlich zum großen Teil schon wieder „hereinspielen“.

Waren Sie zufrieden mit dem Service und der Beratung von RPM?

Die Unterlagen (Broschüren) geben eine gute Übersicht. Die Beratung hat das System (die Funktion) sehr genau erklärt. Bis dato wurden die vereinbarten Fristen (Service) sehr gut eingehalten.

Haben Sie auch andere Monitoringsysteme verwendet? Falls ja, mit welchem Fazit?

Nein, bis dato wurde nur der Roof Protector eingebaut. Natürlich werden darüber hinaus auch regelmäßige Dachkontrollen / Begehungen durchgeführt.

Wissen Sie, dass der Roof Protector Ihnen auch klare Aussagen über CO₂-Belastung geben kann?

Nein.

Wissen Sie, dass in Deutschland CO₂-Emissionen bereits ab Jänner 2021 gebührenpflichtig sind?

Nein.

Anmerkung des Autors: Werden CO₂-Emissionen von Unternehmen ausgestoßen sind CO₂-Zertifikate zur Berechtigung dieser Umweltbelastung notwendig. Zurzeit können übergangsmäßig kostenlose Zertifikate auf Antrag erworben werden. Wann eine Zahlungspflicht in Österreich eintritt ist noch nicht absehbar, kann jedoch, da Deutschland diese Maßnahme ergreift, zukünftig von Relevanz sein. [32] Näheres findet sich in Kapitel 2.5.

Roof Protector eine Grundlage zur Berechnung der Wärme- und Kälteverluste haben?

Wurde mir schon mal mitgeteilt, ich weiß aber nicht wie hier die Berechnung genau erfolgt.

Welche Unterlagen/Darstellungen bezüglich der Vorteilhaftigkeit benötigen Sie, um die Entscheidung zu treffen, den Roof Protector über alle Projekte als Standard auszurollen?

Wirtschaftlichkeit, Zeitersparnis (weniger Begehungen und ggf. schnellere Leckortung), Kosten- und Risikominimierung, Lebensdauerverlängerung der überwachten Dachflächen.

4 Ökonomischer und ökologischer Vergleich

Die Baubranche ist eine der letzten Branchen, die sich der Digitalisierung öffnet. Die Digitalisierung muss als Chance gesehen werden, um unter anderem die Phase des Betriebens und Nutzens wirtschaftlicher zu gestalten. In dieser Phase fallen rund 80% der Lebenszykluskosten (Life Cycle Costs - LCC) eines Gebäudes an. Deswegen kann hier das größte Einsparungspotenzial lukriert werden. [38]

Ähnlich wie die Lebenszykluskosten verhält sich die Ökologie eines Gebäudes, wenn sie über den Lebenszyklus des Gebäudes betrachtet wird.

4.1 Exkurs: Digitalisierung im Bausektor

Betreffend Innovationen kann man entscheiden, diese aufzugreifen und umzusetzen oder nicht. Ob die getroffene Entscheidung klug war, zeigen die folgenden Jahresergebnisse. Im Gegensatz dazu kann man sich als Unternehmen kaum für oder gegen die Digitalisierung entscheiden, denn sie durchdringt alle Strukturen, Prozesse und Instrumente. Deshalb wäre es nicht empfehlenswert, sich den Herausforderungen und Chancen der Digitalisierung zu verschließen: Dies würde nur den Fortbestand des eigenen Unternehmens gefährden. [39, S. 193f]

Die Digitalisierung wirft unter anderem die Frage auf, wie Prozesse zukünftig aussehen werden und wie diese veränderten Prozesse realisiert werden können. Sie bestimmt, wie Unternehmen zukünftig ihre Geschäfte abwickeln und sie verändert die Interaktion mit Kunden, Lieferanten, Nachunternehmern und anderen am Bauprozess beteiligten Partnern. [39, S. 193f]

Beispiele im Flachdachbau für die Digitalisierung könnte neben Feuchte- und Temperaturmonitoring auch ein Monitoring für Schneelasten sein. Dies entspricht einer elektronischen Waage, welche bei Überschreitung einer gewissen Schneelast den Zuständigen alarmiert. Ebenso ist bei Holzbauten, aufgrund der hohen Schadenshäufigkeit bei Feuchtesituationen mit kritischer Feuchte, ein Holzfeuchtemonitoring anzuraten. [40]

PricewaterhouseCoopers (PwC) ist eine weltweit vertretene Wirtschaftsprüfungsgesellschaft. Diese haben in Deutschland eine Analyse der Bauwirtschaft vorgenommen, um die Frage zu beantworten: „Warum ist die Baubranche betreffend der Digitalisierung so zurückhaltend?“ [41]

Dabei kam heraus, dass nur knapp jedes zehnte deutsche Bauunternehmen bereits das sogenannte Building Information Modeling (BIM) nutzt. Bemerkenswert ist, dass die befragten Entscheidungsträger sich der Vorteile von BIM vollauf bewusst sind. Zeit und Kosten können gespart werden, während die Flexibilität im Projekt steigt. Zudem ist eine ungleich effizientere Abstimmung unter den einzelnen Gewerken möglich. Trotzdem schrecken die meisten deutschen Bauunternehmen bislang vor nennenswerten Investitionen in ihre digitalen Fähigkeiten zurück. [41]

Viele Unternehmen wissen nicht, wo sie konkret anfangen sollen. Mangelndes digitales Know-how ist für die befragten Entscheidungsbefugten die größte Hürde bei der Einführung digitaler Prozesse. Momentan versuchen die meisten Baufirmen schlicht, ihre gefüllten Auftragsbücher abzarbeiten. Da bleibt wenig Zeit, strategisch die Zukunft zu analysieren. [41]

Ein weiteres Thema in diesem Zusammenhang sind die Kosten. Die Kosten für die notwendigen Schulungen, Programme und der anscheinende Mehraufwand gegenüber der konventionellen Planung und Ausführung sind für Unternehmer Risiken, die die Digitalisierung hemmen.

Als Beschleuniger für die Digitalisierung wird der Corona-Krise große Bedeutung zugeschrieben. Diese zeigt die Verletzlichkeit der Bau- und Immobilienbranche, welche sich nach Meinung vieler Experten dramatisch verändern wird. Nach dem Corona-Schock wird die Digitalisierung als Pflicht und nicht mehr nur als Fleißaufgabe angesehen. Sind die Unterlagen nur in Papierform in irgendeinem Schrank im Büro, bedeutet analoges Arbeiten teuren Stillstand. [42]

4.2 Facility Management und Smart Buildings

Der Kern des Facility Management ist das Gebäude samt zugehöriger Grundstücke und Infrastrukturen (Facilities). Die Dienstleistungen des Facility Managements sollen die höchste Gebrauchsmobilität, Verfügbarkeit, Werterhaltung und auch eine Wertsteigerung sicherstellen. Das Facility Management sollte bereits in der frühen Planungsphase einbezogen werden. [43, S. 55f]

Ziel des nachhaltigen und effizienten Bauens und Betreibens sollte es sein, Gebäude über den gesamten Lebenszyklus zu konzipieren und zu optimieren [44, S. 9]. Die Abbildung 4.1 zeigt einen möglichen Verlauf dieser Optimierung.

Smart Buildings (intelligente Gebäude) sind Gebäude, welche durch die Digitalisierung, die Automatisierung und die zentrale Bedienung der technischen Ausstattung gekennzeichnet sind. Vor allem bei Bürogebäuden, Flughäfen, Einkaufszentren etc. sind Smart Buildings beliebt, weil durch die eingebaute Technik es möglich ist, einen bedeutenden Anteil an Energie zu sparen. Dies geschieht, indem Heizungen, Belüftung, Kühlvorrichtungen sowie viele elektrische Haushaltsapparaturen dem individuellen Nutzerverhalten angepasst werden. Mit diesen Anpassungen ist nicht nur der Nutzer im Vorteil, sondern auch der Facility Manager. Dieser kann von einem zentralen Ort jederzeit den Gebäudestatus kontrollieren und gegebenenfalls eingreifen. [45]

Der Markt für Smart Buildings wächst stark. Den größten Zuwachs erwarten Experten bei der Gebäudeautomation. Im Jahr 2018 waren weltweit 230 Millionen Geräte in Gebäuden vernetzt. 2022 sollen es 483 Millionen sein. Ihr gemeinsames Ziel ist, das Arbeiten und Wohnen noch komfortabler zu machen und durch Energieeffizienz dem Klimawandel entgegenzuwirken. [46]

Im Sinne der Vernetzung und der daraus resultierenden Vorteile wird das System Roof Protector in Zukunft auch die Möglichkeit bieten, im Bereich des BIM Modells, Nutzungswerte zur Optimierung im jeweiligen Einsatzbereich zu übermitteln und daraus optimale Planungsvoraussetzungen sowie Produktkombination zu erzielen.

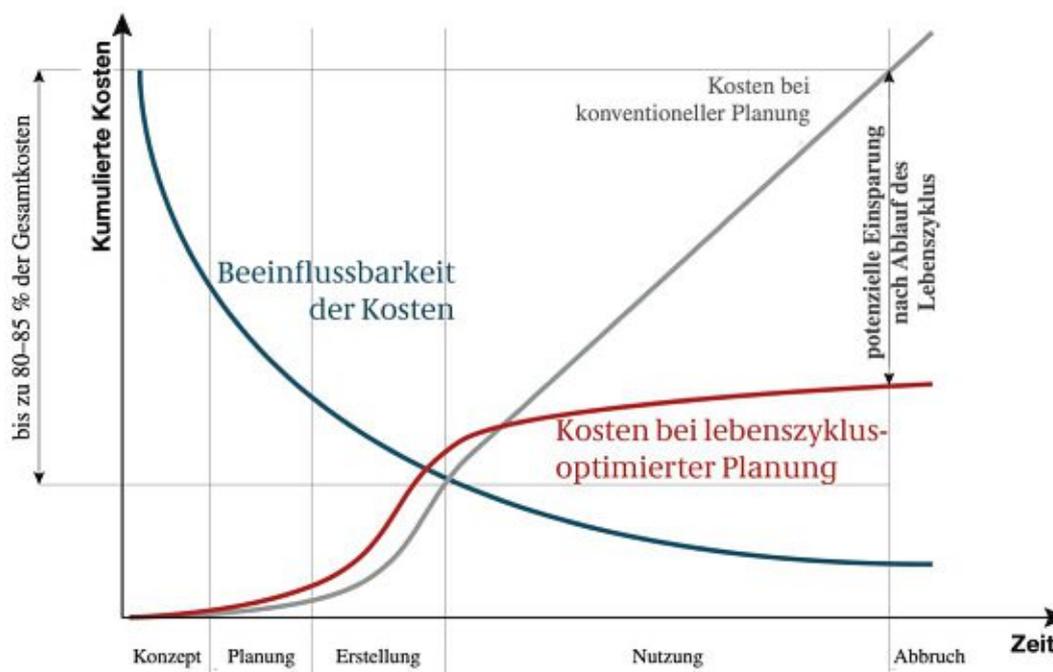


Abbildung 4.1: Lebenszykluskosten eines Gebäude [44, S. 9]

4.3 Nutzungsdauer und Lebensdauer

4.3.1 Nutzungsdauer des Gebäudes und Nutzungsdauer des Flachdachs

Die geplante Nutzungsdauer wird im Eurocode 0 Punkt 1.5.2.8 wie folgt definiert: [47, S. 11]

„Angenommene Zeitdauer, innerhalb der ein Tragwerk unter Berücksichtigung vorgehener Instandhaltungsmaßnahmen für seinen vorgesehenen Zweck genutzt werden soll, ohne dass jedoch eine wesentliche Instandsetzung erforderlich ist.“

Sodann wird die Nutzungsdauer für Gebäude und Tragwerke klassifiziert:

Klasse der Nutzungsdauer	Planungsgröße der Nutzungsdauer (in Jahren)	Beispiele
1	10	Tragwerke mit befristeter Standzeit ^a
2	10–25	Austauschbare Tragwerksteile, z. B. Kranbahnträger, Lager
3	15–30	Landwirtschaftlich genutzte und ähnliche Tragwerke
4	50	Gebäude und andere gewöhnliche Tragwerke
5	100	Monumentale Gebäude, Brücken und andere Ingenieurbauwerke

^a ANMERKUNG Tragwerke oder Teile eines Tragwerks, die mit der Absicht der Wiederverwendung demontiert werden können, sollten nicht als Tragwerke mit befristeter Standzeit betrachtet werden.

Abbildung 4.2: Klassifizierung der Nutzungsdauer von Gebäuden [47, Punkt 2.3, S. 22]

Im Vergleich dazu ist die Nutzungsdauer von Flachdächern von wesentlicher Bedeutung.

In Abhängigkeit der Schadenfolgeklasse gem. EN 1990 Punkt B.3.1 [47, S. 50] und der geplanten Nutzungsdauer des Flachdachs werden gem. ÖNORM B 3691 Punkt 5.4 [6, S. 17] die Nutzungskategorien (K1, K2 oder K3) definiert. Diese bestimmen Vorgaben und Empfehlungen für Maßnahmen (siehe Abbildung 4.3), um die geplante Nutzungsdauer des Flachdachs von bis zu 30 Jahren zu erreichen.

Um einen wirtschaftlichen und ökologisch sinnvollen Vergleich vorzunehmen, ist es von maßgebender Bedeutung, diese beiden Nutzungsdauern in Verbindung zu setzen. Daraus ergibt sich folgender Zusammenhang:

- Die Nutzungsdauer von gewöhnlichen und monumentalen Gebäuden ist länger als die geplante Nutzungsdauer des Flachdachs
- Flachdächer müssen über den Lebenszyklus des Gebäudes hinweg ausgetauscht bzw. saniert werden
- Erhöht sich die Nutzungsdauer des Gebäudes, muss das Dach öfter saniert werden
- Erhöht sich die Nutzungsdauer des Flachdaches muss, über den Lebenszyklus des Gebäudes gesehen, weniger oft saniert werden

Geplante Nutzungsdauer des Dachaufbaus (in Jahren)	Schadensfolgeklasse analog ÖNORM EN 1990/Gebäudenutzung		
	CC 1	CC 2	CC 3
	Geringe oder vernachlässigbare wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen bei Versagen der Dachabdichtung z. B.: Lagergebäude ohne besondere Güter, Einstellhallen, landwirtschaftlich genutzte Nebengebäude	Beträchtliche wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen bei Versagen der Dachabdichtung z. B.: Wohn- und Bürogebäude, öffentliche Gebäude mit mittleren Versagensfolgen (z. B. ein Bürogebäude)	Sehr große wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen bei Versagen der Dachabdichtung z. B.: Gebäude mit hohen Versagensfolgen (z. B. eine Konzerthalle, Krankenhaus, Kraftwerk, Museen) sowie Bauwerke mit lebenswichtiger Infrastrukturfunktion, wichtiger sozialer Funktion, Bauwerke mit Fassungsvermögen über 1000 Personen, Dachabdichtungen, die nur mit sehr großem Aufwand zugänglich sind
Bis 10	K1	—	—
20	K2	K2	K3
30 ^a	K2	K3	K3
Bei unterschiedlicher Nutzung gilt die jeweils höherwertige Einstufung, sofern die Gebäudeteile nicht baulich getrennt sind.			
Dächer mit einer geplanten Nutzungsdauer unter 5 Jahre unterliegen nicht dieser ÖNORM.			
Die angeführte Nutzungsdauer gilt bei Instandhaltung gemäß Abschnitt 7 und bei üblicher klimatischer, mechanischer oder bauphysikalischer Beanspruchung.			
^a Bei Flüssigabdichtungen beträgt die übliche Nutzungsdauer 25 Jahre gemäß ETAG 005.			

Abbildung 4.3: Zuordnung der Nutzungskategorie [6, Punkt 5.4, S. 18]

4.3.2 Lebensdauer

Definition der technischen Lebensdauer: [48]

„Dauer der Haltbarkeit eines Materials, eines Gerätes oder Ähnliches.“

Aus dieser Definition folgt, dass sich die Nutzungsdauer des Flachdaches aus den Lebensdauern der Bauteilschichten ergibt.

Die technische Lebensdauer muss mit der wirtschaftlichen Lebensdauer nicht ident sein. Während der technischen Lebensdauer muss die Funktion und die Nutzbarkeit der Bauteilschicht gegeben sein, während die wirtschaftliche Lebensdauer von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und von den Nutzungsansprüchen abhängt. [49, S. 1f]

Aufgrund dessen werden in Tabelle 4.1 die technischen Lebensdauern dieser Schichten dargelegt.

Material	Empfehlung	statistische Auswertung
Abdichtung	25 Jahre	18-32 Jahre
Polystyrol	40 Jahre	40-65 Jahre
Dampfsperre	40 Jahre	35-58 Jahre

Tabelle 4.1: Technische Lebensdauer der Bauteilschichten im Flachdach – Empfehlung der BTE-Arbeitsgruppe und statistische Auswertung von vorhandenen Literaturwerten [49, S. 2f]

Für Mineralwolle im Flachdachaufbau ist kein Wert für die Lebensdauer vorliegend. Da es sich jedoch um ein mineralisches Bauprodukt handelt, ist im trockenen Zustand vermutlich mit einer vergleichbaren Lebensdauer wie mit Polystyrol zu rechnen.

Wird Mineralwolle nass, gilt bzgl. ihrer Lebensdauer: [46, S. 43]

„Wenn die Einwirkungsmechanismen von Feuchte auf die Struktur von Mineralwolle bekannt wäre, ließen sich relativ klare Vorhersagen zur Lebensdauer von durchfeuchteter Mineralwolle treffen. Entsprechende Untersuchungen gibt es aber nicht oder sie sind nicht veröffentlicht worden.“

Grundvoraussetzung für eine lange Haltbarkeit ist eine sorgfältige Planung, ein fachgerechter Einbau sowie eine regelmäßige Wartung und Kontrolle auf mögliche Schäden. Darüber hinaus bestimmt die Qualität der Einzelbaustoffe die Qualität des Gesamtbauteils. [49, S. 2f]

Alle Bauteilschichten des Flachdachs können eine Lebensdauer von beispielsweise 25 Jahren erreichen, wodurch eine Nutzungsdauer des Flachdachs von ebenfalls 25 Jahren ermöglicht wird. Da die Gebäudenutzungsdauer meist länger ist, muss entschieden werden, ob am Ende der Lebensdauer einer Bauteilschicht alle oder nur einzelne Schichten rückgebaut und erneuert werden.

Wesentlich ist, wie die Lebensdauer der Abdichtung zu Ende geht. Tritt ein Schaden auf und wird die Wärmedämmung massiv (kritisch) geschädigt oder können rechtzeitig Maßnahmen getroffen werden, um eine Durchfeuchtung zu verhindern. Erreicht die diffusionshemmende Schicht das Lebensende, wird in der Regel ein aufwendiger Kompletttausch notwendig.

Da der Roof Protector ein neu entwickeltes System ist, sind zurzeit nur Schätzwerte für dessen Lebensdauer vorhanden. Als Richtwert wird davon ausgegangen, dass der Roof Protector rund 25 Jahre lang eingesetzt werden kann, bevor ein Austausch notwendig wird. Die Lebensdauer kann jedoch unter- aber auch überschritten werden. Ein weiterer unsicherer Faktor sind die Kosten für den Austausch. Voraussichtlich werden in Zukunft deutlich mehr Systeme verkauft, wodurch der Stückpreis wesentlich reduziert werden kann. Diese Kosten sind aktuell nicht vorhersehbar, weswegen an dieser Stelle die aktuellen Kosten von 1.000 € pro Gerät beibehalten werden.

4.4 Modellbildung für den ökonomischen und ökologischen Vergleich

4.4.1 Definitionen

Vorab werden folgende Definitionen notwendig:

- „Variante“: definiert ob in der Berechnung der Roof Protector berücksichtigt wird
 - Variante K: konventionelle Bauweise des Flachdachs inkl. Abschottung
 - Variante RP: konventionelle Bauweise mit Roof Protector exkl. Abschottung
- „Schott“: durch die Abschottung flüssigkeitsdicht ausgeführter Teil der Dachfläche in der Variante K
 - Ausbildung gem. ÖNORM B 3691 Punkt 5.4 [6, S. 17]
 - Fläche je Schott: 250 m²
- „Feld“: gedanklicher Teil der Dachfläche ohne Abschottung in der Variante RP
 - Pro Feld wird ein Roof Protector zur Überwachung eingesetzt
 - Fläche je Feld: 250 m²
- „Fall“: definiert die Anzahl der Sanierungen (max. zwei) und ob ein Komplettaustausch notwendig ist. Der Index „i“ definiert die Gebäudenutzungsdauer und die Lebensdauer der jeweiligen Flachdachschichten
 - Fall A: keine Sanierung, kein Komplettaustausch
 - Fall B_i: eine Sanierung, kein Komplettaustausch
 - Fall C_i: keine Sanierung, ein Komplettaustausch
 - Fall D_i: eine Sanierungen, ein Komplettaustausch
 - Fall E: zwei Sanierungen, kein Komplettaustausch
 - Fall F: zwei Sanierungen, ein Komplettaustausch
- „Kombination“: definiert je Fall, ob und wie viele Schotte je Sanierung/Komplettaustausch nass bzw. trocken sind

Sowohl für den ökonomischen als auch den ökologischen Vergleich werden die Berechnung und die zugehörigen Ergebnisse in die Fälle A bis F gegliedert, welche in Kapitel 4.4.3 beschrieben werden.

4.4.2 Modellbildung

Der dem Vergleich zugrunde gelegte Dachaufbau (siehe Abbildung 4.4) ist wie folgt, von oben beginnend, definiert:

- 2-lagige bituminöse Abdichtung
- Gefälledämmung aus EPS bzw. Mineralwolle mit 30 cm Dicke im Mittel
- bituminöse Dampfsperre
- Tragkonstruktion

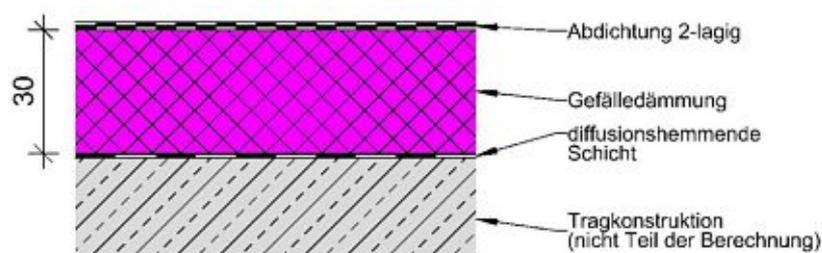


Abbildung 4.4: Angenommener Dachaufbau – Foliendach (keine Bekiesung)

Für den Vergleich wird das Flachdach gedanklich in 250 m² große Teilflächen unterteilt. In der Variante K entsprechen diese Teilflächen den realen Schottgrößen gem. ÖNORM B 3691 Punkt 5.4 [6, S. 17]. Dadurch wird gewährleistet, dass bei einer schadhafte Abdichtung in einem Schott, ein anderes Schott nicht von einem Wasserschaden betroffen ist.

Im Gegensatz dazu wird in der Variante RP keine Abschottung durchgeführt. Die Teilflächen werden in dieser Variante „Feld“ genannt. Die Feldgröße ist ident mit Schottgröße, weil das Monitoringsystem auch auf eine 250 m² große Teilfläche des Daches ausgelegt ist.

In der Variante K wird aufgrund der langen Wartungsintervalle angenommen, dass das Lebensende der Abdichtung nicht an jenem Zeitpunkt festgestellt werden kann, an dem die Abdichtung tatsächlich undicht wird. Daher wird für jede Sanierung unterschieden, ob eine gewisse Anzahl an Schotten durchnässt oder trocken ist.

Hat beispielsweise ein Flachdach drei Schotte, also eine gesamte Dachfläche von 750 m², sind folgende Kombinationen pro Sanierung denkbar:

- Kein Schott ist durchnässt
- Ein Schott ist durchnässt, zwei Schotte sind trocken
- Zwei Schotte sind durchnässt, 1 Schott ist trocken
- Alle 3 Schotte sind durchnässt

Dieses Modell wird für bis zu zehn Feldern (2500 m² Dachfläche) in allen denkbaren Kombinationen und bei jeder Sanierung bzw. Komplettwechsel angewandt.

Ist ein Schott aufgrund eines Wasserschadens durchnässt, ist die Abdichtung, Wärmedämmung und Abschottung zu tauschen. Bleibt das Schott hingegen trocken, wird aufgrund der fortgeschrittenen Lebensdauer der Abdichtung, diese entfernt und eine neue Abdichtung eingebaut, um weitere Schäden zu verhindern.

Durch den Einsatz von Monitoringsystemen kann der Zeitpunkt des Schadeneintritts erkannt werden. Die Durchfeuchtung der Dämmebene wird bei raschem Handeln verhindert. Somit muss bei einer Sanierung lediglich die Abdichtungsebene ausgetauscht werden.

Wird das Ende der Lebensdauer der Wärmedämmung oder der diffusionshemmenden Schicht erreicht, wird im Modell eine Komplettauswechslung notwendig.

Zusammenfassend zeigt Tabelle 4.2 die Konsequenzen, welche bei einer Sanierung oder einem Kompletttausch schlagend werden.

	Variante K		Variante RP
	Schott nass	Schott trocken	Feld trocken
Sanierung	Auswechslung der <ul style="list-style-type: none"> • Abdichtung • nassen Wärmed. • Abschottung 	Auswechslung der <ul style="list-style-type: none"> • Abdichtung 	Auswechslung der <ul style="list-style-type: none"> • Abdichtung
Kompletttausch	Auswechslung der <ul style="list-style-type: none"> • Abdichtung • nassen Wärmed. • Abschottung • diffusionsh. Schicht 	Auswechslung der <ul style="list-style-type: none"> • Abdichtung • trockenen Wärmed. • Abschottung • diffusionsh. Schicht 	Auswechslung der <ul style="list-style-type: none"> • Abdichtung • trockenen Wärmed. • diffusionsh. Schicht

Tabelle 4.2: Konsequenzen einer Sanierung bzw. eines Komplettaustausches je Variante

Die in Tabelle 4.2 genannten Konsequenzen erwachsen pro Sanierung bzw. Komplettaustausch. Werden im Laufe des Gebäudelebenszyklus mehrere Sanierungen und/oder ein Komplettaustausch erforderlich, superponieren sich die Auswirkungen der Konsequenzen. Die Anzahl der Sanierungen und ob ein Komplettaustausch berechnet wird, ist in Tabelle 4.3 angegeben.

4.4.3 Übersicht der Fälle A bis F

Für die Berechnung des ökonomischen und ökologischen Vergleichs wird in Tabelle 4.3 eine Übersicht über die berechneten Fälle und deren jeweilige Berechnungsparameter dargestellt. Die Parameter wurden so gewählt, dass einerseits die Lebensdauern der Bauteilschichten im Bereich des Denkbaren liegen, andererseits so, dass die Vergleichbarkeit mit der Baupraxis bestmöglich gegeben ist.

Gemäß der Definition „Fall“ aus Kapitel 4.4.1 resultieren neun verschiedene Fälle. Die Lebensdauer der Abdichtung im Fall C ist mit 35 Jahren hoch angesetzt. Dieser Umstand wird nicht den Regelfall darstellen, wird aber der Vollständigkeit wegen trotzdem kalkuliert.

	Fall								
	A	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂	D ₁	D ₂	E	F
Anzahl Sanierungen [-]	0	1	1	0	0	1	1	2	2
Anzahl Komplettaustausch [-]	0	0	0	1	1	1	1	0	1
Gebäudenutzungsdauer [Jahre]	30	30	50	50	70	50	70	50	70
Lebensdauer Abdichtung [Jahre]	30	20	30	35	35	20	30	20	20
Lebensdauer Wärmedämmung [Jahre]	>30	>30	50	35	35	40	50	50	40
Lebensdauer diffusionshemmende Schicht [Jahre]	>30	>30	50	35	35	40	50	50	40

Tabelle 4.3: Übersicht über die berechneten Fälle und deren Parameter

4.4.4 Allgemeine Modellgrenzen

Die allgemeinen Modellgrenzen gelten sowohl für die ökonomische als auch für die ökologische Berechnung. Darüber hinaus sind in Kapitel 4.5.1 besondere Modellgrenzen angegeben, welche nur für die ökonomische Berechnung gültig sind. In Kapitel 4.6.1 sind die besonderen Modellgrenzen im ökologischen Vergleich angeführt.

Da sich die Lebensdauer der Wärmedämmung und der diffusionshemmenden Schichten in einem ähnlichen Rahmen bewegt, wird der Austausch der beiden Schichten stets zusammen betrachtet. Erreicht die diffusionshemmende Schicht ihr Lebensende, muss die Wärmedämmung im Regelfall ohnehin gewechselt werden. Ist die Lebensdauer der Wärmedämmung kürzer, bietet sich hier die Gelegenheit, auch die diffusionshemmende Schicht zu wechseln, um einen kurzfristig späteren Komplettaustausch zu vermeiden.

Von maßgebender Relevanz ist einerseits die in Kapitel 4.3 diskutierte Nutzungsdauer des Gebäudes und des Flachdaches. In Rahmen dieser Arbeit werden Gebäude mit einer Nutzungsdauer von bis zu 70 Jahren diskutiert. Bei längeren Nutzungsdauern kann der Stand der Technik sowohl vom Roof Protector als auch von diversen Aufbauten und Dämmungen nicht mehr wissenschaftlich abgebildet werden.

Erhöhte Wärmeleitfähigkeiten im Falle einer nassen Wärmedämmung werden nicht berücksichtigt. Daraus resultiert, dass erhöhte Heizkosten und nachteilige Umweltauswirkungen ebenfalls nicht Teil der Berechnung sind. Diese Modellgrenze verbessert im Vergleich die Wirtschaftlichkeit und Ökologie der Variante K in geringem Ausmaß. Erhöhte Wärmeleitfähigkeiten können für den Einzelfall gesondert betrachtet werden. Für die Berechnung der erhöhten Heizkosten siehe Kapitel 2.4.1, für die Berechnung der Umweltauswirkungen siehe Kapitel 2.5.1.

Das Dämmen im Flachdachbau kann mit vielen Materialien ausgeführt werden. Da EPS und MW den größten Marktanteil innehalten, wird der ökonomische und ökologische Vergleich ausschließlich für diese beiden Dämmstoffe und nur für eine Dämmstoffdicke von im Mittel 30 cm durchgeführt.

Im Berechnungsmodell ist die Wärmedämmung nicht mit der diffusionshemmenden Schicht verklebt, was einen unabhängigen Austausch der beiden Schichten ermöglicht. Die zusätzlichen Auswirkungen bei einer Verklebung müssen im Einzelfall berücksichtigt werden.

Eine etwaige Bekiesung ist ein vergleichsneutrales Element, die Auswirkungen sind in beiden Varianten demnach dieselben, weswegen die Bekiesung im Vergleich keine Berücksichtigung findet. Gleiches gilt für einen Gründachaufbau.

Vom Einzelfall abhängig ist, ob in extremen Fällen auch die Tragkonstruktion oder nur Teile davon saniert werden müssen. Beeinträchtigungen der Tragkonstruktion werden nicht berücksichtigt.

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit und der Übersichtlichkeit werden unter anderem Hoch- und Tiefzüge im Randbereich, Bauteilanschlüsse, Aussparungen, Verblechungen, Gullys, An- und Ablieferungen, Windsogsicherungen etc. nicht berücksichtigt.

Der Berechnung ist eine quadratische Schottgröße zugrunde gelegt, wodurch es möglich wird die Schottlängen zu bestimmen. Diese Längen sind in einer etwaigen realen Ausführung den örtlichen Gegebenheiten zwingend anzupassen. Bei einer Schottgröße von 250 m² ergeben sich demnach Seitenlängen von 15,81 m. Die erforderliche Gesamtlänge der Schotte ergibt sich aus geometrischer Überlegung, unter der Annahme, dass die Felder mit der ganzen Seitenlänge aneinandergrenzen und spiralförmig angeordnet werden, um annähernd quadratische Dachflächen zu erhalten. Dadurch können die Kosten und Umweltauswirkungen der Abschottung quantifiziert werden. Die erforderlichen Schottlängen können in Abhängigkeit der Schottanzahl aus Tabelle 4.4 entnommen werden.

Anzahl der Schotte [-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schottlänge gesamt [m]	0,0	15,8	31,6	63,3	79,1	110,7	126,5	158,1	173,9	189,7

Tabelle 4.4: Zusammenhang von Schottanzahl und Schottlänge

Hinweis zur Berechnung: Die berechneten Ergebnisse werden gerundet. Dadurch können die Ergebnisse von den dargestellten Berechnungsschritten geringfügig abweichen.

Zusammenfassung der allgemeinen Modellgrenzen:

- Die Wärmedämmung und die diffusionshemmende Schicht werden zeitgleich gewechselt. Die Wärmedämmung und die diffusionshemmende Schicht sind nicht verklebt.
- Berücksichtigung der Gebäudenutzungsdauer von bis zu 70 Jahren.
- Erhöhte Wärmeleitfähigkeiten sind nicht berücksichtigt.
- Die Berechnung wird nur für EPS und MW durchgeführt.
- Die Tragkonstruktion ist nicht von einem Feuchteschaden betroffen.
- Bauteilanschlüsse, Windsogsicherungen, Verblechungen etc. sind nicht berücksichtigt.
- Quadratische Schottgrößen und annähernd quadratische Dachflächen.
- Die wirtschaftliche Lebensdauer der Schichten entspricht der technischen Lebensdauer der Schichten.
- Die Lebensdauer Roof Protectoren beträgt 25 Jahre.

4.5 Ökonomischer Vergleich

Beim ökonomischen Vergleich wird einerseits eine unverzinsten Berechnung und andererseits eine Endwertberechnung durchgeführt.

4.5.1 Besondere Modellgrenzen im ökonomischen Vergleich

Die Materialkosten wurden aus diversen Herstellerkatalogen entnommen, der Großteil der Aufwandswerte stammt aus „Baukalkulation und Kostenrechnung“ von Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Kropik [24, S. 401f]. Die verbleibenden Aufwandswerte wurden für die gegebenen Randbedingungen überschlagen.

Die Rückbaukosten der Wärmedämmung variieren stark. Sie bestehen aus den Abbruchkosten und Entsorgungskosten. Zunächst sind sie abhängig vom Standort des Gebäudes, sowie von der Art der Dämmung. Ebenso sind die betrieblichen Konditionen bei den Verwertungsunternehmen relevant.

Um die Größenordnung einschätzen zu können, werden einige Werte angegeben. Die reine Entsorgung von EPS kostet rund 10,00 €/m³ in einem sauberen und trockenen Zustand. Die gesamten Rückbaukosten belaufen sich bei trockenem EPS auf rund 80,00 €/m³. Bei verschmutztem und nassem EPS können die Preise Größenordnungen von ca. 240,00 €/m³ erreichen, wobei die Entsorgungskosten je nach Gewicht zwischen rund 50,00 und 80,00 €/m³ ausmachen. Die Abfuhr und Deponierung von Mineralwolle wird, wegen ihrem starken Saugvermögen, nach Gewicht abgerechnet. Hierbei erreichen die Preise ca. 1.900,00 €/t, wobei rund 1.400,00 €/t bis 1.600,00 €/t für die reine Entsorgung fällig werden. [13]

Am Ende des Gebäudelebenszyklus fallen in der Regel auch Rückbaukosten an. Erreicht die Lebensdauer der Abdichtung zusammen mit der Gebäudenutzungsdauer ihr Ende, wird wie bei einer Sanierung unterschieden, wie viele Schotte durchnässt sind und welchen Einfluss dies auf den Vergleich hat. Ist die Lebensdauer der Abdichtung am Ende des Gebäudelebenszyklus nicht erreicht, wird angenommen, dass alle Schotte und Felder trocken sind.

Ein Vorteil beim Einsatz der Roof Protectoren ist die frühzeitige Kenntnis eines Schadens. Darüber hinaus lässt sich auch der Ort des Schadens, im Vergleich zum herkömmlichen Prozedere, relativ genau feststellen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass bei Dächern ohne Roof Protectoren erhöhte Suchkosten anfallen, um den Schadensursprung zu lokalisieren. Diese Kosten werden vernachlässigt; sind jedoch in der Praxis zwingend zu berücksichtigen und sprechen für die Wirtschaftlichkeit von Monitoringsystemen. Durch diese Systeme kann, mit vergleichsweise geringfügigem Aufwand, die Schadensquelle beseitigt werden und es können entsprechende Maßnahmen zur Rücktrocknung gesetzt werden. Beispielsweise der Einbau von Lüftern zur natürlichen Rücktrocknung. Werden keine digitalen Methoden verwendet, ist im Falle eines Schadens mit einer aufwendigeren Sanierung zu rechnen. Die Möglichkeit, frühzeitig auf geänderte Umstände reagieren zu können, ist von wesentlicher Relevanz.

Etwaig anfallende jährliche Wartungskosten werden vernachlässigt. Einerseits würden sie in vergleichbarer Höhe anfallen, andererseits wird deren Durchführung oftmals vergessen, eingespart oder erlaubt keine hinreichende Beurteilung ohne aufwändige Maßnahmen durchführen zu müssen.

Die Endwertberechnung wird mit einem über die Zeit konstantem Zinssatz von 3,33% durchgeführt. Näheres zur Berechnung des Zinssatzes und zur Endwertberechnung siehe Kapitel 4.5.2.

Die Auswirkungen der CO₂ Belastung und die Kosten für CO₂-Zertifikate werden in Kapitel 4.6 evaluiert und sind deswegen an dieser Stelle nicht inkludiert.

Zusammenfassung der besonderen Modellgrenzen im ökonomischen Vergleich:

- Die Rückbaukosten der Wärmedämmung variieren stark und sind von einigen spezifischen Randbedingungen abhängig.
- Ist das Ende der Lebensdauer der Abdichtung zum Ende der Gebäudenutzungsdauer nicht erreicht, wird angenommen, dass alle Schotte und Felder trocken sind.
- Wartungs- und Suchkosten sind nicht berücksichtigt.
- Über die Zeit konstanter Zinssatz bei der Anwendung der Endwertberechnung.
- Keine Berücksichtigung von Kosten für CO₂-Emissionen.

4.5.2 Endwertberechnung: Allgemeines

Zum Begriff „Endwert“: Der Endwert ist der zukünftige Wert von Zahlungen unter der Annahme einer gewissen Verzinsung. Dadurch werden Zahlungen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten getätigt werden, vergleichbar gemacht. Die Höhe des Endwerts hängt von der zeitlichen Struktur der Zahlungen und dem verwendeten Zinssatz ab. Je weiter eine Zahlung in der Zukunft liegt und je höher der Zinssatz ist, desto höher ist der Endwert der Zahlung. [50]

Die Endwertberechnung ist besonders für den standardisierten Einsatz von Monitoringsystemen bei großen Auftraggebern relevant.

Um die zukünftigen jährlichen Inflationsraten abzuschätzen zu können, wird der Verbraucherpreisindex VPI herangezogen. Die durchschnittliche jährliche Inflationsrate vom Jahr 2000 bis Oktober 2020 beträgt 2,29% p. a. [51]. Dieser Prozentsatz wird für auf die zukünftigen Zahlungen angewandt und vermindert den Endwert.

Um die zukünftigen Baukostenveränderungen (BKV) abzubilden, werden die Veränderungsprozentsätze der Arbeitskategorie „Bauwerksabdichter – Dächer (Schwarzdecker)“ des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF) herangezogen. Aus den Veränderungsprozentsätzen gem. ÖNORM B 2111 [52] die Umrechnungsprozentsätze, aufgeteilt in die Preisanteile Lohn und Sonstiges, ermittelt. Die Tabellen 4.5 und 4.7 zeigen die Zwischenergebnisse der Berechnung, während die Tabellen 4.6 und 4.8 die Ergebnisse ausweisen.

Anhand dieser Ergebnisse werden die durchschnittlichen, jährlichen Baukostenveränderungen berechnet:

$$BKV_{Lohn,\emptyset} = \frac{51,11\%}{19,33 \text{ Jahre}} = 2,64\% \text{ p. a.} \quad (4-1)$$

$$BKV_{Sonstiges,\emptyset} = \frac{195,33\%}{19,33 \text{ Jahre}} = 10,10\% \text{ p. a.} \quad (4-2)$$

Für die Berechnung des Kalkulationszinssatzes i wird eine Aufteilung von Lohn und Sonstiges von 60/40 in Rechnung gestellt. Der Kalkulationszinssatz i ergibt sich zu:

$$i = 0,6 \cdot 2,64\% + 0,4 \cdot 10,10\% - 2,29\% = 3,33\% \text{ p. a.} \quad (4-3)$$

Dieser wird als über die Zeit konstant betrachtet.

Lohn				
01.05.2000	Preisbasis	Index: 101.13		
01.05.2001	Beginn PPLohn ,1	Index: 104.06	VLohn,1: 2.84%	ULohn,1: 2.84%
01.05.2002	Beginn PPLohn ,2	Index: 106.4	VLohn,2: 2.2%	ULohn,2: 5.11%
01.05.2004	Beginn PPLohn ,3	Index: 110.78	VLohn,3: 4.03%	ULohn,3: 9.35%
01.05.2005	Beginn PPLohn ,4	Index: 113.33	VLohn,4: 2.26%	ULohn,4: 11.81%
01.05.2006	Beginn PPLohn ,5	Index: 115.87	VLohn,5: 2.2%	ULohn,5: 14.27%
01.05.2007	Beginn PPLohn ,6	Index: 118.54	VLohn,6: 2.26%	ULohn,6: 16.85%
01.05.2008	Beginn PPLohn ,7	Index: 121.92	VLohn,7: 2.79%	ULohn,7: 20.11%
01.05.2010	Beginn PPLohn ,8	Index: 125.36	VLohn,8: 2.77%	ULohn,8: 23.44%
01.05.2012	Beginn PPLohn ,9	Index: 130.91	VLohn,9: 4.34%	ULohn,9: 28.79%
01.05.2013	Beginn PPLohn ,10	Index: 134.27	VLohn,10: 2.52%	ULohn,10: 32.04%
01.05.2015	Beginn PPLohn ,11	Index: 139.01	VLohn,11: 3.46%	ULohn,11: 36.61%
01.05.2017	Beginn PPLohn ,12	Index: 142.25	VLohn,12: 2.28%	ULohn,12: 39.73%
01.05.2018	Beginn PPLohn ,13	Index: 145.34	VLohn,13: 2.13%	ULohn,13: 42.7%
01.05.2019	Beginn PPLohn ,14	Index: 149.84	VLohn,14: 3.03%	ULohn,14: 47.03%
01.05.2020	Beginn PPLohn ,15	Index: 154.08	VLohn,15: 2.77%	ULohn,15: 51.11%

Tabelle 4.5: Berechnung des Umrechnungsprozentsatzes für den Preisanteil Lohn [53]

Lohn			
Mai 2000	Preisbasis	Index: 101.13	
September 2020	Stichtag	Index: 154.08	Umrechnungsprozentsatz (ULohn,15): 51.11%

Tabelle 4.6: Ergebnis des Umrechnungsprozentsatzes für den Preisanteil Lohn [53]

Sonst				
01.05.2000	Preisbasis	Index: 100.0		
01.04.2002	Beginn PP	Index: 102.6	VSonst,1: 2.6%	USonst,1: 2.6%
01.04.2003	Beginn PP	Index: 105.95	VSonst,2: 3.27%	USonst,2: 5.95%
01.04.2004	Beginn PP	Index: 108.84	VSonst,3: 2.73%	USonst,3: 8.84%
01.04.2005	Beginn PP	Index: 112.45	VSonst,4: 3.32%	USonst,4: 12.45%
01.04.2006	Beginn PP	Index: 123.54	VSonst,5: 9.86%	USonst,5: 23.54%
01.10.2007	Beginn PP	Index: 126.07	VSonst,6: 2.05%	USonst,6: 26.07%
01.01.2008	Beginn PP	Index: 130.62	VSonst,7: 3.61%	USonst,7: 30.62%
01.08.2008	Beginn PP	Index: 136.75	VSonst,8: 4.69%	USonst,8: 36.75%
01.09.2008	Beginn PP	Index: 152.37	VSonst,9: 11.42%	USonst,9: 52.37%
01.07.2010	Beginn PP	Index: 162.34	VSonst,10: 6.54%	USonst,10: 62.34%
01.09.2010	Beginn PP	Index: 166.69	VSonst,11: 2.68%	USonst,11: 66.69%
01.01.2011	Beginn PP	Index: 171.43	VSonst,12: 2.84%	USonst,12: 71.43%
01.05.2011	Beginn PP	Index: 180.48	VSonst,13: 5.28%	USonst,13: 80.48%
01.07.2011	Beginn PP	Index: 191.85	VSonst,14: 6.3%	USonst,14: 91.85%
01.09.2011	Beginn PP	Index: 205.15	VSonst,15: 6.93%	USonst,15: 105.15%
01.03.2012	Beginn PP	Index: 214.27	VSonst,16: 4.44%	USonst,16: 114.27%
01.05.2012	Beginn PP	Index: 224.55	VSonst,17: 4.8%	USonst,17: 124.55%
01.03.2013	Beginn PP	Index: 231.2	VSonst,18: 2.96%	USonst,18: 131.2%
01.02.2014	Beginn PP	Index: 236.11	VSonst,19: 2.12%	USonst,19: 136.11%
01.01.2015	Beginn PP	Index: 251.49	VSonst,20: 6.51%	USonst,20: 151.48%
01.06.2015	Beginn PP	Index: 244.3	VSonst,21: -2.86%	USonst,21: 144.29%
01.03.2017	Beginn PP	Index: 249.7	VSonst,22: 2.21%	USonst,22: 149.69%
01.01.2018	Beginn PP	Index: 255.03	VSonst,23: 2.13%	USonst,23: 155.02%
01.04.2018	Beginn PP	Index: 263.6	VSonst,24: 3.36%	USonst,24: 163.58%
01.08.2018	Beginn PP	Index: 269.52	VSonst,25: 2.25%	USonst,25: 169.51%
01.03.2019	Beginn PP	Index: 275.6	VSonst,26: 2.25%	USonst,26: 175.58%
01.03.2020	Beginn PP	Index: 295.35	VSonst,27: 7.16%	USonst,27: 195.33%

Tabelle 4.7: Berechnung des Umrechnungsprozentsatzes für den Preisanteil Sonstiges [53]

Sonst		
Mai 2000	Preisbasis	Index: 100.0
September 2020	Stichtag	Index: 295.35 Umrechnungsprozentsatz (USonst,27): 195.33%

Tabelle 4.8: Ergebnis des Umrechnungsprozentsatzes für den Preisanteil Sonstiges [53]

Der Endwert zum Zeitpunkt n einer Zahlung zum Zeitpunkt 0 wird durch Aufzinsung und unter der Berücksichtigung von Gleichung 4-3 wie folgt berechnet: [50]

$$EW_n = \sum_i^k C_0 \cdot (1 + i)^n = C_0 \cdot (1,0333)^n \quad (4-4)$$

mit

EW_n	Endwert zum Zeitpunkt n [€]
C_0	Zahlung zum Zeitpunkt 0 [€]
i	i-te Kalkulationszinssatz [%]
n	betrachteter Zeitraum [Jahre]

Die Berechnung nach Formel 4-4 wird für einmalige Zahlungen angewandt. Die Aufzinsung der laufenden Kosten wird aufgrund der jährlichen Zahlung wie folgt ermittelt: [54, S. 171f]

$$EW_n = \sum_{t=1}^n C \cdot (1,0333)^t = C \cdot \sum_{t=1}^n (1,03)^t = C \cdot \left(\frac{1 - 1,0333^n}{1 - 1,0333} \right) \quad (4-5)$$

mit

C jährliche, nicht verzinste, konstante Zahlung [€/a]

Dabei ist der Endwert die verzinste Summe von verzinster, jährlichen Zahlungen.

Die Formel 4-5 zeigt im ersten Schritt die Partialsumme einer geometrischen Reihe. Da C konstant ist, kann diese aus der Summe herausgehoben werden. Im nächsten Schritt wird das Ergebnis der Partialsumme dargestellt, welches allgemein gültig ist, solange der Kalkulationszinssatz nicht null ist bzw. die Basis der Potenz nicht eins ist. [54, S. 171f]

Ein Beispiel zur Endwertberechnung befindet sich in Kapitel 4.5.4.1.

4.5.3 Kostenberechnung pro Feld/Schott

Zuerst werden die Errichtungskosten, danach die Sanierungskosten und die Kosten eines Komplett austauschs pro Schott/Feld für die Variante K und die Variante RP berechnet. Zuletzt werden die laufenden Kosten des Systems Roof Protector angeführt.

4.5.3.1 Errichtungskosten pro Schott (Variante K)

Zuerst werden die Errichtungskosten ohne die Abschottung berechnet. Im Anschluss wird auf die Kosten der Abschottung eingegangen, bevor die gesamten Errichtungskosten aufgezeigt werden. Die Materialkosten stammen von einschlägigen Herstellerlisten und sind als geschätzter Mittelwert zu verstehen, weshalb auf eine Quellenangabe verzichtet wird.

Errichtungskosten ohne Abschottung - Variante K		
Diffusionshemmende Schicht	E-ALGV-4	10,00 €/m ²
	Aufwandswert	8 min/m ² [24, S. 401f]
Dämmung	EPS W25	40,00 €/m ²
	Aufwandswert	7 min/m ² [24, S. 401f]
Abdichtung	Bitumen 2-lagig	28,00 €/m ²
	Aufwandswert	16 min/m ² [24, S. 401f]
Annahme Zuschlag Z1: Kleinmaterial (z. B. Gas)		20,00 %
Annahme Zuschlag Z2: Vertragen des Materials (Lohn)		20,00 %
Personalkosten je Stunde		40,00 €/h
Errichtungskosten ohne Abschottung pro m ² :		118,40 €/m ²
Errichtungskosten ohne Abschottung pro Schott, EPS:		29.600,00 €/Schott

Tabelle 4.9: Errichtungskosten ohne Abschottung - Variante K, EPS

Die Errichtungskosten EK pro Quadratmeter aus Tabelle 4.9 berechnen sich folgendermaßen:

$$EK = (1 + Z1) \cdot \sum_i MK_i + (1 + Z2) \cdot \sum_j AW_j \cdot PK \quad (4-6)$$

mit

MK Materialkosten [€/m²]

AW Aufwandswert [min/m²]

PK Personalkosten [€/min]

Wird statt EPS W25 das Flachdach mit Mineralwolle gedämmt (Materialkosten: 50,00 €/m²) betragen die Errichtungskosten ohne Abschottung 32.600,00 €/Schott. Der Berechnungsweg ist ident zur EPS Dämmung.

Berechnung der Abschottungskosten:

Die Längen der erforderlichen Abschotten werden aus Tabelle 4.4 entnommen. Pro Laufmeter Abschottung wird ein Materialbedarf von 0,90 m²/lfm (Bitumendachbahn 1-lagig: ca. 14,00 €/m²) in Rechnung gestellt. Der Aufwandswert zur Herstellung beträgt rund 18 min/m² [24, S. 401f]. Gemäß Gleichung 4-6 resultieren Kosten von 31,20 €/m² Abschottung. Die Kosten der Abschottung pro Schott befinden sich in Tabelle 4.10.

		Länge gesamt [m]	Länge pro Schott [m/Schott]	Materialbedarf/Schott [m ² /Schott]	Kosten [€/Schott]
Anzahl der Schotte	1	0,00	0,00	0,00	0,00
	2	15,80	7,90	7,10	222,00
	3	31,60	10,50	9,50	296,00
	4	63,20	15,80	14,20	444,00
	5	79,10	15,80	14,20	444,00
	6	110,70	18,40	16,60	518,00
	7	126,50	18,10	16,30	507,40
	8	158,10	19,80	17,80	555,00
	9	173,90	19,30	17,40	542,60
	10	189,70	19,00	17,10	532,80

Tabelle 4.10: Errichtungskosten der Abschottung - Variante K

Die Kosten der Abschottung summiert mit den Errichtungskosten ohne die Abschottung ergeben die gesamten Errichtungskosten der Variante K, siehe Tabelle 4.11.

		EK _{K,EPS} [€/Schott]	EK _{K,MW} [€/Schott]
Anzahl der Schotte	1	29.600,00	32.600,00
	2	29.822,00	32.822,00
	3	29.896,00	32.896,00
	4	30.044,00	33.044,00
	5	30.044,00	33.044,00
	6	30.118,00	33.118,00
	7	30.107,00	33.107,00
	8	30.155,00	33.155,00
	9	30.143,00	33.143,00
	10	30.133,00	33.133,00

Tabelle 4.11: Errichtungskosten - Variante K, EPS und MW

4.5.3.2 Errichtungskosten pro Feld (Variante RP)

Die Errichtungskosten pro Feld der Variante RP resultieren aus der Summation aus den Kosten pro Schott ohne Abschottung (Tabelle 4.9) mit den Kosten für einen Roof Protector:

$$EK_{RP, EPS} = 29.600,00 \text{ €/Schott} + 1.000,00 \text{ €/RP} = 30.600,00 \text{ €/Feld}$$

$$EK_{RP, MW} = 32.600,00 \text{ €/Schott} + 1.000,00 \text{ €/RP} = 33.600,00 \text{ €/Feld}$$

4.5.3.3 Sanierungskosten pro nassem Schott (Variante K)

Zuerst werden die Rückbaukosten RK ohne die Abschottung berechnet. Im Anschluss wird auf die Rückbaukosten der Abschottung eingegangen, bevor die gesamten Rückbaukosten auf-gezeigt werden. Bei der Sanierung wird die diffusionshemmende Schicht nicht getauscht.

Rückbaukosten ohne Abschottung - Variante K - EPS nass		
Entsorgung EPS	Abrechnung nach	m ³
	Volumen Dämmung	0,3 · 250 = 75 m ³
	Abbruch- und Entsorgungskosten	200,00 €/m ³ [13]
	Umlage in Schottfläche	60,00 €/m ²
Abdichtung 2-lagig	Abbruch- und Entsorgungskosten	9,00 €/m ² [13]
Rückbaukosten ohne Abschottung pro m ² :		69,00 €/m ²
Rückbaukosten ohne Abschottung pro Schott, EPS nass:		17.250,00 €/Schott

Tabelle 4.12: Rückbaukosten ohne Abschottung - Variante K - EPS nass

Anmerkung zur Rohdichte von Mineralwolle:

Die Rohdichte von Mineralwollendämmplatten im Flachdachbau ist üblicherweise in den einschlägigen Produktdatenblättern der Hersteller nicht angegeben. Deswegen wurden die Informationen bei einem Dämmstoffhersteller telefonisch am 30.11.2020 angefragt. Die in deren Produktpalette erhältlichen und für den Flachdachbau geeigneten Produkte weisen eine Rohdichte von rund 130,00 kg/m³ bis 180,00 kg/m³ auf. Deswegen wird in der nachfolgenden Berechnung von einer Rohdichte von 130,00 kg/m³ ausgegangen.

Rückbaukosten ohne Abschottung - Variante K - MW nass		
Entsorgung Mineralwolle	Abrechnung nach	Tonnen
	Volumen Dämmung	75 m ³
	Trockendichte der Dämmung	130 kg/m ³
	Wassergehalt	10 Vol.-%
	Volumen Wasser	8 m ³
	Dichte Wasser	1000 kg/m ³
	Dichte nasse Dämmung	115 kg/m ³
	Gewicht der zu entsorgenden Dämmung	17,25 t
	Entsorgungskosten MW	1900 €/t
Abdichtung 2-lagig	Abbruch- und Entsorgungskosten	9,00 €/m ² [13]
Rückbaukosten ohne Abschottung pro m ² :		140,10 €/m ²
Rückbaukosten ohne Abschottung pro Schott, MW nass:		35.025,00 €/Schott

Tabelle 4.13: Rückbaukosten ohne Abschottung - Variante K - MW nass

Für die Rückbaukosten der Abschottung werden 6,00 €/m² angesetzt. Die Tabelle 4.14 beinhaltet die Rückbaukosten der Abschottung pro Schott.

		Zu entsorgende Fläche [m ² /Schott]	RK Abschottung [€/Schott]
Anzahl der Schotte	1	0,00	0,00
	2	7,10	42,70
	3	9,50	56,90
	4	14,20	85,40
	5	14,20	85,40
	6	16,60	99,60
	7	16,30	97,60
	8	17,80	106,70
	9	17,40	104,40
	10	17,10	102,50

Tabelle 4.14: Rückbaukosten der Abschottung - Variante K

Die Rückbaukosten der Abschottung (Tabelle 4.14) summiert mit den Rückbaukosten ohne die Abschottung (Tabelle 4.12 bzw. Tabelle 4.13) ergeben die gesamten Rückbaukosten der Variante K, siehe Tabelle 4.15.

		RK _{K, EPS nass} [€/Schott]	RK _{K, MW nass} [€/Schott]
Anzahl der Schotte	1	17.250,00	35.025,00
	2	17.293,00	35.068,00
	3	17.307,00	35.082,00
	4	17.335,00	35.110,00
	5	17.335,00	35.110,00
	6	17.350,00	35.125,00
	7	17.348,00	35.123,00
	8	17.357,00	35.132,00
	9	17.354,00	35.129,00
	10	17.352,00	35.127,00

Tabelle 4.15: Rückbaukosten ohne diffusionshemmende Schicht - Variante K - EPS und MW nass

Unter der Annahme, dass die Kalkulationsgrundlagen der Errichtungskosten auch für die Neueinbaukosten gültig sind, resultieren die Kosten des Neueinbaus NK aus den Errichtungskosten (Tabelle 4.11) abzüglich der Errichtungskosten der diffusionshemmenden Schicht. Die Errichtungskosten der diffusionshemmenden Schicht betragen gem. Gleichung 4-6: 4.600 €/Schott. Die Kosten des Neueinbaus sind in Tabelle 4.16 abgebildet.

		NK _{K,EPS} [€/Schott]	NK _{K,MW} [€/Schott]
Anzahl der Schotte	1	25.000,00	28.000,00
	2	25.222,00	28.222,00
	3	25.296,00	28.296,00
	4	25.444,00	28.444,00
	5	25.444,00	28.444,00
	6	25.518,00	28.518,00
	7	25.507,00	28.507,00
	8	25.555,00	28.555,00
	9	25.543,00	28.543,00
	10	25.533,00	28.533,00

Tabelle 4.16: Neueinbaukosten - Variante K - EPS und MW

Die Sanierungskosten resultieren aus der Summation der Rückbaukosten (Tabelle 4.15) und der Neueinbaukosten (Tabelle 4.16), siehe Tabelle 4.17.

		SK _{K,EPS nass} [€/Schott]	SK _{K,MW nass} [€/Schott]
Anzahl der Schotte	1	42.250,00	63.025,00
	2	42.515,00	63.290,00
	3	42.603,00	63.378,00
	4	42.779,00	63.554,00
	5	42.779,00	63.554,00
	6	42.868,00	63.643,00
	7	42.855,00	63.630,00
	8	42.912,00	63.687,00
	9	42.897,00	63.672,00
	10	42.885,00	63.660,00

Tabelle 4.17: Sanierungskosten - Variante K - EPS und MW nass

4.5.3.4 Sanierungskosten pro trockenem Schott (Variante K)

In dieser Konstellation muss lediglich die Abdichtung gewechselt werden, da die Wärmedämmung nicht nass wird. Die Sanierungskosten resultieren wiederum aus den Rückbaukosten und den Neueinbaukosten.

Rückbaukosten der Abdichtung - Variante K - EPS und MW trocken		
Abdichtung 2-lagig	Abbruch- und Entsorgungskosten	9,00 €/m ² [13]
Rückbaukosten pro m ² :		9,00 €/m ²
Rückbaukosten pro Schott, EPS und MW trocken :		2.250 €/Schott

Tabelle 4.18: Rückbaukosten der Abdichtung - Variante K - EPS und MW trocken

Neueinbaukosten der Abdichtung - Variante K - EPS und MW trocken		
	Material	Kosten pro m ²
Abdichtung	Bitumen 2-lagig	28,00 €/m ²
	Aufwandswert	16 min/m ² [24, S. 401f]
Annahme Zuschlag Z1 Kleinmaterial (z. B. Gas)		20,00 %
Annahme Zuschlag Z2 Vertragen des Materials		20,00 %
Personalkosten je Stunde		40,00 €/h
Neueinbaukosten pro m ² :		46,40 €/m ²
Neueinbaukosten pro Schott, EPS und MW trocken:		11.600 €/Schott

Tabelle 4.19: Neueinbaukosten der Abdichtung- Variante K - EPS und MW trocken

Die Sanierungskosten berechnen sich unter Berücksichtigung der Tabelle 4.18 und Tabelle 4.19 gemäß Gleichung 4-7.

$$SK_{K,trocken} = RK + NK = 2.250 \frac{\text{€}}{\text{Schott}} + 11.600 \frac{\text{€}}{\text{Schott}} = 13.850 \frac{\text{€}}{\text{Schott}} \quad (4-7)$$

4.5.3.5 Sanierungskosten pro Feld (Variante RP)

Bei den Sanierungskosten der Variante RP muss, wie in Kapitel 4.5.3.4, nur die Abdichtung gewechselt werden. Zusätzlich ist jedoch der erneute Einbau der Roof Protectoren erforderlich. Der Einbau inkludiert den Anschluss an die Abdichtungsebene. Bewertet wird der erneute Einbau mit 80,00 €/Stück. Da ein RP für ein Feld ausgelegt ist, werden auch 80,00 €/Feld fällig. Demnach berechnen sich die Sanierungskosten der Variante RP zu:

$$SK_{RP} = 13.850,00 \frac{\text{€}}{\text{Feld}} + 80,00 \frac{\text{€}}{\text{Feld}} = 13.930,00 \frac{\text{€}}{\text{Feld}} \quad (4-8)$$

4.5.3.6 Komplettaustauschkosten pro nassem Schott (Variante K)

Beim Komplettaustausch wird unterschieden, ob ein Schott nass oder trocken ist. Dieser Umstand hat Einfluss auf die jeweiligen Entsorgungskosten. Beim Komplettaustausch pro nassem Schott wird das gesamte nasse Dachpaket entsorgt und neu eingebaut. Deswegen errechnen sich die Kosten für den Komplettaustausch (Tabelle 4.21) durch Addition der Sanierungskosten aus Tabelle 4.15 und den Sanierungskosten der diffusionshemmenden Schicht. Die Sanierungskosten der diffusionshemmenden Schicht resultieren aus den entsprechenden Entsorgungs- und Neueinbaukosten, siehe Tabelle 4.20.

Sanierungskosten diffusionshemmende Schicht		
Diffusionshemmende Schicht	Abbruch- und Entsorgungskosten	6,50 €/m ² [13]
Rückbaukosten pro m ² :		6,50 €/m ²
Neueinbau	Material	Kosten pro m ²
Diffusionshemmende Schicht	E-ALGV-4	10,00 €/m ²
	Aufwandswert	8 min/m ² [24, S. 401f]
Annahme Zuschlag Z1 Kleinmaterial (z. B. Gas)		20,00 %
Annahme Zuschlag Z2 Vertragen des Materials		20,00 %
Personalkosten je Stunde		40,00 €/h
Neueinbaukosten pro m ² :		18,40 €/m ²
Sanierungskosten pro m ² :		24,90 €/m ²
Sanierungskosten diffusionshemmende Schicht pro Schott:		6.225 €/Schott

Tabelle 4.20: Sanierungskosten diffusionshemmende Schicht

Die Komplettaustauschkosten KAK mit nassem Schott sind in Tabelle 4.21 dargestellt.

		KAK _{K, EPS nass} [€/Schott]	KAK _{K, MW nass} [€/Schott]
Anzahl der Schotte	1	48.475,00	69.250,00
	2	48.740,00	69.515,00
	3	48.828,00	69.603,00
	4	49.004,00	69.779,00
	5	49.004,00	69.779,00
	6	49.093,00	69.868,00
	7	49.080,00	69.855,00
	8	49.137,00	69.912,00
	9	49.122,00	69.897,00
	10	49.110,00	69.885,00

Tabelle 4.21: Komplettaustauschkosten - Variante K - EPS und MW nass

4.5.3.7 Komplettaustauschkosten pro trockenem Schott (Variante K)

Die Kosten eines Komplettaustausches bei einem trockenem Schott (Tabelle 4.25) setzen sich aus den Errichtungskosten (Tabelle 4.11) und den Rückbaukosten (Tabelle 4.24) zusammen. Bei den Rückbaukosten ist zwischen EPS und MW zu unterscheiden. Die gesamten Rückbaukosten ergeben sich aus den Rückbaukosten ohne Abschottung, jeweils für EPS (Tabelle 4.22) und MW (Tabelle 4.23), und den Rückbaukosten der Abschottung (Tabelle 4.14).

Rückbaukosten ohne Abschottung - Variante K - EPS trocken		
Entsorgung EPS	Abrechnung nach	m ³
	Volumen Dämmung	75 m ³
	Abbruch- und Entsorgungskosten	70,00 €/m ³ [13]
	Umlage in Schottfläche	21,00 €/m ²
Abdichtung 2-lagig	Abbruch- und Entsorgungskosten	9,00 €/m ² [13]
Diffusionshemmende Schicht	Abbruch- und Entsorgungskosten	6,50 €/m ² [13]
Rückbaukosten ohne Abschottung pro m ² :		36,50 €/m ²
Rückbaukosten ohne Abschottung pro Schott, EPS:		9.125 €/Schott

Tabelle 4.22: Rückbaukosten ohne Abschottung - Variante K - EPS trocken

Rückbaukosten ohne Abschottung - Variante K - MW trocken		
Entsorgung MW	Abrechnung nach	Tonnen
	Volumen Dämmung	75 m ³
	Trockendichte der Dämmung	130 kg/m ³
	Wassergehalt	0 Vol.-%
	Gewicht der zu entsorgenden Dämmung	9,75 t
	Entsorgungskosten MW	1900 €/t [13]
Abdichtung 2-lagig	Abbruch- und Entsorgungskosten	9,00 €/m ² [13]
Diffusionshemmende Schicht	Abbruch- und Entsorgungskosten	6,50 €/m ² [13]
Rückbaukosten ohne Abschottung pro m ² :		89,60 €/m ²
Rückbaukosten ohne Abschottung pro Schott, MW:		22.400 €/Schott

Tabelle 4.23: Rückbaukosten ohne Abschottung - Variante K - MW trocken

		RK _{K, EPS trocken} [€/Schott]	RK _{K, MW trocken} [€/Schott]
Anzahl der Schotte	1	9.125,00	22.400,00
	2	9.168,00	22.443,00
	3	9.182,00	22.457,00
	4	9.210,00	22.485,00
	5	9.210,00	22.485,00
	6	9.225,00	22.500,00
	7	9.223,00	22.498,00
	8	9.232,00	22.507,00
	9	9.229,00	22.504,00
	10	9.227,00	22.502,00

Tabelle 4.24: Rückbaukosten inkl. Abschottung - Variante K - EPS und MW trocken

		KAK _{K,EPS trocken} [€/Schott]	KAK _{K,MW trocken} [€/Schott]
Anzahl der Schotte	1	38.725,00	55.000,00
	2	38.990,00	55.265,00
	3	39.078,00	55.353,00
	4	39.254,00	55.529,00
	5	39.254,00	55.529,00
	6	39.343,00	55.618,00
	7	39.330,00	55.605,00
	8	39.387,00	55.662,00
	9	39.372,00	55.647,00
	10	39.360,00	55.635,00

Tabelle 4.25: Komplettaustauschkosten - Variante K - EPS und MW trocken

4.5.3.8 Komplettaustauschkosten pro Feld (Variante RP)

Bei den Komplettaustauschkosten der Variante RP muss, wie in Kapitel 4.5.3.7 (Tabelle 4.25) der gesamte trockene Dachaufbau entfernt werden. Zusätzlich ist der erneute Einbau der Roof Protectoren erforderlich. Der Einbau inkludiert den Anschluss an die Abdichtungsebene. Bewertet wird der erneute Einbau mit 80,00 €/Stück. Da ein RP für ein Feld ausgelegt ist, werden auch 80,00 €/Feld fällig. Da die Komplettaustauschkosten aus Tabelle 4.25 bei einem Schott keine Abschottung enthalten, können die Werte aus der ersten Zeile herangezogen werden.

$$KAK_{RP,EPS} = 38.725,00 \frac{\text{€}}{\text{Feld}} + 80,00 \frac{\text{€}}{\text{Feld}} = 38.805,00 \frac{\text{€}}{\text{Feld}} \quad (4-9)$$

$$KAK_{RP,MW} = 55.000,00 \frac{\text{€}}{\text{Feld}} + 80,00 \frac{\text{€}}{\text{Feld}} = 55.080,00 \frac{\text{€}}{\text{Feld}} \quad (4-10)$$

Die Auswechslung der Roof Protectoren ist unabhängig von der Komplettauswechslung. Diese Kosten werden in den laufenden Kosten, siehe Kapitel 4.5.3.10, berücksichtigt.

4.5.3.9 Rückbaukosten

Die Rückbaukosten bei trockenen Schotten ist in Tabelle 4.24 angegeben. Die Rückbaukosten bei nassen Schotten ist in Tabelle 4.15 ohne die diffusionshemmende Schicht angeführt. Die Rückbaukosten für die diffusionshemmende Schicht betragen 6,50 €/m². Die gesamten Rückbaukosten können der Tabelle 4.26 entnommen werden.

4.5.3.10 Laufende Kosten

Gemäß den allgemeinen und besonderen Modellgrenzen (Kapitel 4.4.4 und 4.5.1) fallen laufende Kosten nur in der Variante RP, also beim Einsatz der Roof Protectoren, an. Als laufende Kosten sind das Monitoring, die Wartung der Messsysteme und der Austausch zu nennen.

Als Monitoring Package wird das Basic Package gewählt, welches pro Roof Protector und Monat 1,50 € an Kosten verursacht. Detaillierte Informationen zu diesem finden sich in Kapitel 3.4.

Die Kosten der Wartung der Geräte beläuft sich auf 15,00 € pro Gerät und Jahr.

4 Ökonomischer und ökologischer Vergleich

Die RP Auswechslung wird, wie in Kapitel 4.3.2 erwähnt, alle 25 Jahre notwendig. Pro RP werden Kosten von 1000,00 €/Stück in Rechnung gestellt.

Zusammenfassend berechnen sich die laufenden Kosten LK zu:

$$LK = \frac{1,50 \text{ €}}{\text{Stück} \cdot \text{Mo}} \cdot 12 \text{ Mo} + \frac{15,00 \text{ €}}{\text{Stück}} + \frac{1.000,00 \text{ €}}{25 \text{ Jahre} \cdot \text{Stück}} = 73,00 \frac{\text{€}}{\text{Jahr} \cdot \text{Stück}} \quad (4-11)$$

4.5.3.11 Zusammenfassung der Kosten pro Schott bzw. Feld

Eine Zusammenfassung der Kosten pro Schott bzw. Feld wird in Tabelle 4.26 dargelegt. Das Formelzeichen „m“ steht dabei für die Gesamtanzahl der Schotte.

	m [-]	EK	SK		KAK		RK		LK pro Jahr
			trocken	nass	trocken	nass	trocken	nass	
Variante K [€/Schott]	1	29.600	13.850	42.250	38.725	48.475	9.125	18.875	0
	2	29.822		42.515	38.990	48.740	9.168	18.918	
	3	29.896		42.603	39.078	48.828	9.182	18.932	
	4	30.044		42.779	39.254	49.004	9.210	18.960	
	5	30.044		42.779	39.254	49.004	9.210	18.960	
	6	30.118		42.868	39.343	49.093	9.225	18.975	
	7	30.107		42.855	39.330	49.080	9.223	18.973	
	8	30.155		42.912	39.387	49.137	9.232	18.982	
	9	30.143		42.897	39.372	49.122	9.229	18.979	
	10	30.133		42.885	39.360	49.110	9.227	18.977	
Variante RP [€/Feld]	1	32.600	13.930	63.025	55.000	69.250	22.400	36.650	73
	2	32.822		63.290	55.265	69.515	22.443	36.693	
	3	32.896		63.378	55.353	69.603	22.457	36.707	
	4	33.044		63.554	55.529	69.779	22.485	36.735	
	5	33.044		63.554	55.529	69.779	22.485	36.735	
	6	33.118		63.643	55.618	69.868	22.500	36.750	
	7	33.107		63.630	55.605	69.855	22.498	36.748	
	8	33.155		63.687	55.662	69.912	22.507	36.757	
	9	33.143		63.672	55.647	69.897	22.504	36.754	
	10	33.133		63.660	55.635	69.885	22.502	36.752	
	EPS	30.600	13.930	/	38.805	/	9.125	/	73
	MW	33.600		/	55.080	/	22.400	/	

Tabelle 4.26: Zusammenfassung der Kosten pro Schott bzw. Feld

4.5.4 Fallauswertung

Um die Berechnung der Fälle aus Kapitel 4.4.3 transparent darzustellen, wird anhand des Falles F eine Beispielskombination berechnet. Im Anschluss folgt die generelle Auswertung aller Fälle und deren Kombinationsmöglichkeiten.

Je nach Fall sind unterschiedlich viele Kombinationen von trockenen und nassen Schotten möglich. Die gesamte Anzahl der Kombinationen berechnet sich wie folgt:

$$\text{Anzahl der Kombinationen} = \sum_{j=1}^m (j + 1)^k \quad (4-12)$$

mit

m Gesamtanzahl der Schotte bzw. Felder [-]

k Anzahl der Sanierungen und Komplettaustausche [-]

Beispiel 6: Berechnung der Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten bei einer Sanierung und bis zu zwei Schotten

Gem. Gleichung 4-12 ergeben sich 5 Kombinationsmöglichkeiten. Diese sind:

- 1 Schott, 0 davon sind nass
- 1 Schott, 1 davon ist nass
- 2 Schotte, 0 davon sind nass
- 2 Schotte, 1 davon ist nass
- 2 Schotte, beide sind nass

4.5.4.1 Auswertung einer Beispielskombination des Falles F

Im Fall F gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 2
- Anzahl der Komplettaustausche: 1
- Gebäudenutzungsdauer: 70 Jahre
- Lebensdauer der Abdichtung: 20 Jahre
- Lebensdauer der Wärmedämmung: 40 Jahre
- Lebensdauer der diffusionshemmenden Schicht: 40 Jahre
- 4355 Kombinationsmöglichkeiten
- Am Ende des Gebäudelebenszyklus sind alle Schotte und Felder trocken

Daraus resultieren maßgebende Zeitpunkte, welche in Tabelle 4.27 angegeben sind. Zur Definition der Formelzeichen:

t Zeitdauer ab der Herstellung [Jahre]

ND Gebäudenutzungsdauer [Jahre]

t=20 Jahre	t=40 Jahre	t=60 Jahre	t=70 Jahre
Sanierung 1	Komplettaustausch	Sanierung 2	Ende ND

Tabelle 4.27: Maßgebende Zeitpunkte im Fall F

Für die nachfolgenden Berechnungen werden noch weitere Formelzeichen definiert:

S_1 Anzahl der nassen Schotte in der ersten Sanierung [-]

S_2 Anzahl der nassen Schotte in der zweiten Sanierung [-]

KA Anzahl der nassen Schotte beim Komplettaustausch [-]

LCCR Life Cycle Costs Roof - Lebenszykluskosten des Dachaufbaus [€]

Anhand der der Beispielkombination ($m=10$; $S_1 = 3$; $S_2 = 3$; $KA = 3$; EPS) werden von 10 Schotten bei jeder Sanierung bzw. Komplettaustausch drei Schotte nass. Durch diese Festlegung können die Errichtungskosten, Sanierungskosten, die Kosten für den Komplettaustausch und die Rückbaukosten gem. Tabelle 4.26 des ganzen Flachdaches berechnet werden. Die zugrunde gelegte Wärmedämmung ist EPS. Die Lebenszykluskosten des Dachaufbaus in der Variante K berechnen sich in der unverzinsten Rechnung zu:

$$EK_K = 10 \cdot 30.133 = 301.328 \text{ €} \quad (4-13)$$

$$SK_{K,1} = SK_{K,2} = 3 \cdot 42.885 + 7 \cdot 13.850 = 225.606 \text{ €} \quad (4-14)$$

$$KAK_K = 3 \cdot 49.110 + 7 \cdot 39.360 = 422.852 \text{ €} \quad (4-15)$$

$$RK_K = 10 \cdot 9.227 = 92.275 \text{ €} \quad (4-16)$$

$$LCCR_K = 301.333 + 2 \cdot 225.606 + 422.852 + 92.270 = 1.267.666 \text{ €} \quad (4-17)$$

Die Lebenszykluskosten des Dachaufbaus in der Variante RP betragen:

$$EK_{RP} = 10 \cdot 30.600 = 306.000 \text{ €} \quad (4-18)$$

$$SK_{RP,1} = SK_{RP,2} = 10 \cdot 13.930 = 139.300 \text{ €} \quad (4-19)$$

$$KAK_{RP} = 10 \cdot 38.805 = 388.050 \text{ €} \quad (4-20)$$

$$RK_{RP} = 10 \cdot 9.125 = 91.250 \text{ €} \quad (4-21)$$

$$LK = 70 \cdot 10 \cdot 73 = 51.100 \text{ €}$$

$$LCCR_{RP} = 306.000 + 2 \cdot 139.300 + 388.050 + 91.250 + 51.100 = 1.115.000 \text{ €} \quad (4-22)$$

Im Laufe des Gebäudelebenszyklus können mit Hilfe vom Roof Protector demnach folgende Kosten eingespart werden:

$$Einsparung = LCCR_K - LCCR_{RP} = 1.267.666 - 1.115.000 = 152.666 \text{ €} \quad (4-23)$$

Dies entspricht einem Einsparungspotenzial von rund 12,0%. Die Amortisationsdauer für die unverzinsten Berechnung ergibt sich anhand folgender Gleichung:

$$\text{Amortisationsdauer} = \frac{\text{Investitionskosten RP} + LK}{\left(\frac{\text{Einsparung} + \text{Investitionskosten RP} + LK}{ND} \right)} \quad (4-24)$$

Die Gleichung 4-24 ist nicht für negative Einsparungen gültig. Da die Investitionskosten des RP und dessen laufende Kosten bereits in der Einsparung negativ berücksichtigt sind, müssen diese im Zähler des Nenners noch zusätzlich addiert werden. Somit resultiert für die unverzinsten Berechnung eine Amortisationsdauer von 20,00 Jahren. Das bedeutet, dass sich das System Roof Protector in dieser Kombination ab 20,00 Jahren rentiert.

Der unverzinsten Kostenverlauf kann der Abbildung 4.5 entnommen werden.

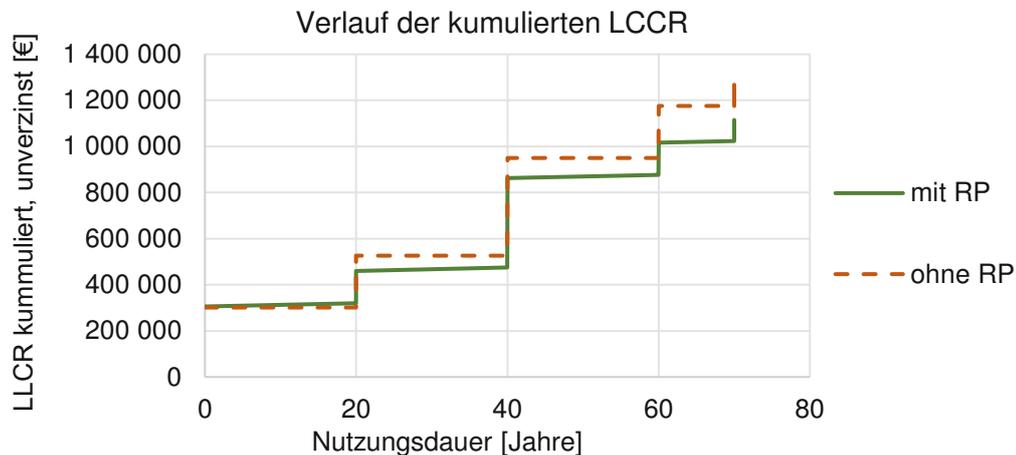


Abbildung 4.5: Verlauf der kumulierten, unverzinsten LCCR für die Beispielkombination ($m=10$; $S_1 = 3$; $S_2 = 3$; $KA = 3$; Fall F; EPS)

Weiterführend wird die Endwertberechnung durchgeführt. Die verwendeten Zeitpunkte können der Tabelle 4.27 entnommen werden. Zuerst wird die Variante K berechnet.

$$EW(EK_K) = EK_K = 301.328 \text{ €} \quad (4-25)$$

$$EW(SK_{K,1}) = 225.606 \cdot (1,0333)^{20} = 434.389 \text{ €} \quad (4-26)$$

$$EW(SK_{K,2}) = 225.606 \cdot (1,0333)^{60} = 1.610.408 \text{ €} \quad (4-27)$$

$$EW(KAK_K) = 422.852 \cdot (1,0333)^{40} = 1.567.639 \text{ €} \quad (4-28)$$

$$EW(RK_K) = 92.275 \cdot (1,0333)^{70} = 913.970 \text{ €} \quad (4-29)$$

$$\begin{aligned} EW(LCCR_K) &= 301.328 + 434.389 + 1.610.408 + 1.567.639 + 913.970 = \\ &= 4.827.733 \text{ €} \end{aligned} \quad (4-30)$$

Endwertberechnung der nicht laufenden Kosten der Variante RP:

$$EW(EK_{RP}) = EK_{RP} = 306.000 \text{ €} \quad (4-31)$$

$$EW(SK_{RP,1}) = 139.300 \cdot (1,0333)^{20} = 268.213 \text{ €} \quad (4-32)$$

$$EW(SK_{RP,2}) = 139.300 \cdot (1,0333)^{60} = 994.345 \text{ €} \quad (4-33)$$

$$EW(KAK_{RP}) = 388.050 \cdot (1,0333)^{40} = 1.438.616 \text{ €} \quad (4-34)$$

$$EW(RK_{RP}) = 91.250 \cdot (1,0333)^{70} = 903.822 \text{ €} \quad (4-35)$$

Für die Endwertberechnung der laufenden Kosten der Variante RP werden vier Zeiträume maßgebend. Diese sind:

- Zeitraum 0-1: Herstellung bis Sanierung 1, 20 Jahre
- Zeitraum 1-2: Sanierung 1 bis Komplettaustausch, 20 Jahre
- Zeitraum 2-3: Komplettaustausch bis Sanierung 2, 20 Jahre
- Zeitraum 3-4: Sanierung 2 bis Ende Gebäudenutzungsdauer, 10 Jahre

Die unverzinsten laufenden Kosten werden als Eingangsparameter für die Endwertberechnung benötigt. Diese betragen $10 \cdot 73 = 730 \text{ €/Jahr}$. Die Indizes von LK verweisen auf die jeweiligen Zeiträume. Die Endwerte der laufenden Kosten berechnen sich iterativ:

$$EW(LK_{0-1}) = 730 \cdot \left(\frac{1 - 1,0333^{20}}{1 - 1,0333} \right) = 20.287 \text{ €} \quad (4-36)$$

$$EW(LK_{1-2}) = \left(\frac{1 - 1,0333^{40}}{1 - 1,0333} \right) - 20.287 = 39.062 \text{ €} \quad (4-37)$$

$$EW(LK_{2-3}) = \left(\frac{1 - 1,0333^{60}}{1 - 1,0333} \right) - 20.287 - 39.062 = 75.211 \text{ €} \quad (4-38)$$

$$EW(LK_{3-4}) = \left(\frac{1 - 1,0333^{70}}{1 - 1,0333} \right) - 20.287 - 39.062 - 75.211 = 60.652 \text{ €} \quad (4-39)$$

$$EW(LK_{0-4}) = 20.287 + 39.062 + 75.211 + 60.652 = 195.212 \text{ €} \quad (4-40)$$

Somit können die LLCR der Endwertberechnung angegeben werden:

$$EW(LCCR_{RP}) = 306.000 + 268.213 + 994.345 + 1.438.616 + 903.822 + 195.212 = 4.106.208 \text{ €} \quad (4-41)$$

Im Laufe des Gebäudelebenszyklus können mit Hilfe vom Roof Protector demnach folgende Kosten in der Endwertberechnung eingespart werden:

$$Einsparung = EW(LCCR_K) - EW(LCCR_{RP}) = 4.827.733 - 4.106.208 = 721.526 \text{ €} \quad (4-42)$$

Dies entspricht einem Einsparungspotenzial von rund 14,9% bei einer Amortisationsdauer von ca. 15,5 Jahren. Der Endwertverlauf der kumulierten LCCR ist in Abbildung 4.6 dargestellt.

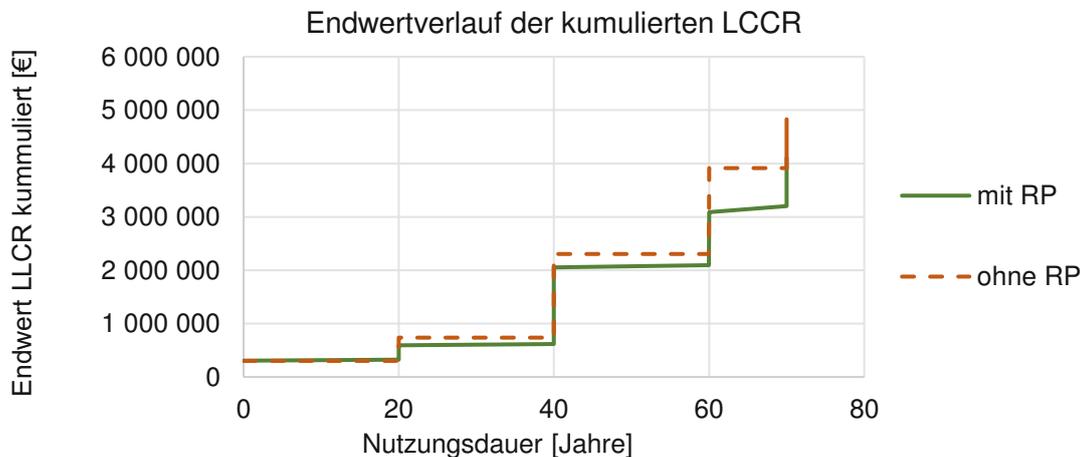


Abbildung 4.6: Endwertverlauf der kumulierten LCCR für die Beispielkombination ($m=10$; $S_1 = 3$; $S_2 = 3$; $KA = 3$; Fall F; EPS; $i=3,33\%$)

4.5.4.2 Auswertung der LLCR im Fall A

Im Fall A gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 0
- Anzahl der Komplettaustausche: 0
- Gebäudenutzungsdauer: 30 Jahre
- Lebensdauer der Abdichtung: 30 Jahre
- Lebensdauer der Wärmedämmung: >30 Jahre
- Lebensdauer der diffusionshemmenden Schicht: >30 Jahre
- 65 Kombinationsmöglichkeiten
- Am Ende des Gebäudelebenszyklus sind nicht alle Schotte und Felder trocken. Daher wird unterschieden ob und viele Schotte bei der Entsorgung nass sind.

Daraus resultieren maßgebende Zeitpunkte, welche in Tabelle 4.28 angegeben sind.

t=30 Jahre
Ende ND

Tabelle 4.28: Maßgebende Zeitpunkte im Fall A

Zur Veranschaulichung des Kostenverlaufes wird in Abbildung 4.7 ein Symbolbild dargestellt.

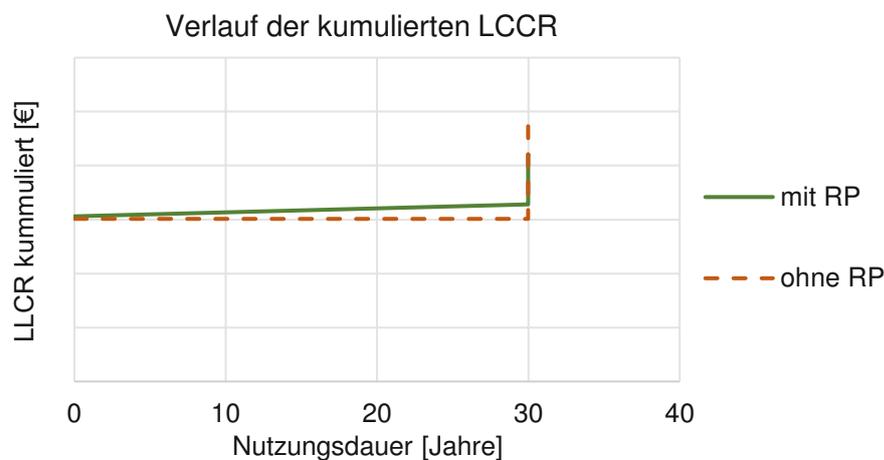


Abbildung 4.7: Symbolbild des Verlaufes der LLCR des Falles A

In diesem Fall sind 65 Kombinationen möglich.

Für EPS resultieren 20 Kombinationen, in denen der Roof Protector entweder nach der unverzinsten Berechnung, nach der Endwertberechnung oder nach beidem nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse der unwirtschaftlichen Kombinationen (unverzinst und gem. Endwertwertrechnung EWR) werden für EPS im Anhang W-A-EPS aufgelistet.

Für MW ergeben sich 15 zumindest teilweise nicht rentable Kombinationen für den Einsatz des Roof Protectors. Die unwirtschaftlichen Ergebnisse sind in Anhang W-A-MW dargestellt.

In Tabelle 4.29 sind die für den Roof Protector wirtschaftlichste und unwirtschaftlichste Kombination, jeweils getrennt in EPS und MW, aufgelistet. Die Spalte „Parameter“ zeigt dabei die

Kombination der nassen Schotte, wobei der Parameter „E“ die Anzahl der nassen Schotte bei der Entsorgung darstellt.

		unverzinst		EWR	
		Einsparung absolut [€]	Parameter [m-E]	Einsparung absolut [€]	Parameter [m-E]
EPS	wirtschaftlichste Kombination	70.928	10-10	219.089	10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-26.572	10-0	-41.320	10-0
MW	wirtschaftlichste Kombination	115.928	10-10	339.277	10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-26.572	10-0	-41.320	10-0

Tabelle 4.29: Extremwerte im Fall A

Wird am Ende des Gebäudelebenszyklus kein Schott nass, rentiert sich der Roof Protector nicht. Gestaffelt nach der Gesamtanzahl von Schotten resultieren folgende, für den Einsatz des Roof Protectors, wirtschaftliche Ergebnisse der unverzinsten Berechnung:

- 1 bis 3 Schotte: mind. ein Schott muss nass werden
- 4 bis 7 Schotte: mind. zwei Schotte müssen nass werden
- 8 bis 10 Schotte: mind. drei Schotte müssen nass werden

Gem. EWR ergeben sich folgende Resultate:

- 1 bis 6 Schotte: mind. ein Schott muss nass werden
- 7 bis 10 Schotte: mind. zwei Schotte müssen nass werden

Zusammenfassend ist der Roof Protector bei Dächern mit einer Dachfläche von bis zu 2.500 m² und 30 cm Wärmedämmung in jedem Fall wirtschaftlich, wenn in der Variante K min. drei Schotte nass werden würden. Beim Einsatz von Mineralwollgedämmungen ist die Wirtschaftlichkeit schneller gegeben als bei EPS.

Je größer demnach das Flachdach ist, desto mehr Schotte müssen nass werden, um eine Wirtschaftlichkeit des Roof Protectors zu erreichen.

4.5.4.3 Auswertung der LLCR im Fall B₁

Im Fall B₁ gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 1
- Anzahl der Komplettaustausche: 0
- Gebäudenutzungsdauer: 30 Jahre
- Lebensdauer der Abdichtung: 20 Jahre
- Lebensdauer der Wärmedämmung: >30 Jahre
- Lebensdauer der diffusionshemmenden Schicht: >30 Jahre
- 65 Kombinationsmöglichkeiten
- Am Ende des Gebäudelebenszyklus sind alle Schotte und Felder trocken

Daraus resultieren maßgebende Zeitpunkte, welche in Tabelle 4.30 angegeben sind.

t=20 Jahre	t=30 Jahre
Sanierung 1	Ende ND

Tabelle 4.30: Maßgebende Zeitpunkte im Fall B₁

Zur Veranschaulichung des Kostenverlaufes wird in Abbildung 4.8 ein Symbolbild dargestellt.

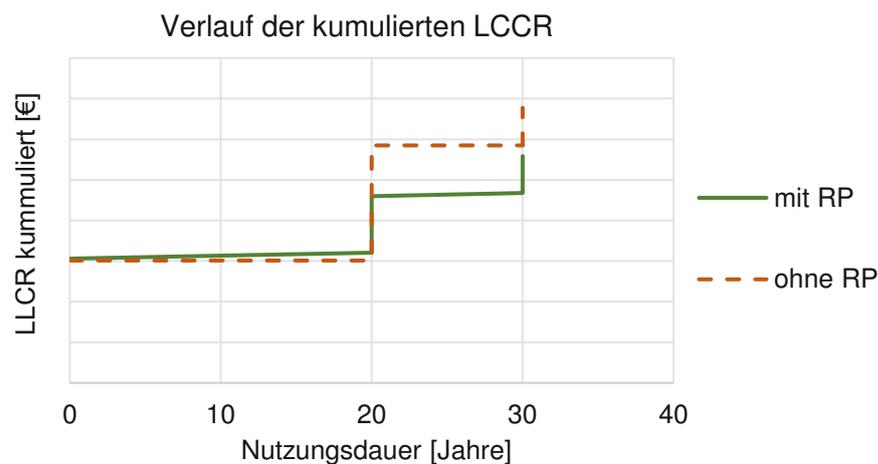


Abbildung 4.8: Symbolbild des Verlaufes der LLCR des Falles B₁

In diesem Fall sind 65 Kombinationen möglich.

Für EPS und MW resultieren 10 Kombinationen, in denen der Roof Protector nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse der unwirtschaftlichen Kombinationen (unverzinst und gem. EWR) werden für EPS und MW im Anhang W-B₁-EPS + MW aufgelistet.

In Tabelle 4.31 sind die für den Roof Protector wirtschaftlichste und unwirtschaftlichste Kombination, jeweils getrennt in EPS und MW, aufgelistet.

		unverzinst		EWR	
		Einsparung absolut [€]	Parameter [m-S ₁]	Einsparung absolut [€]	Parameter [m-S ₁]
EPS	wirtschaftlichste Kombination	264.005	10-10	518.932	10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-26.348	10-0	-40.123	10-0
MW	wirtschaftlichste Kombination	471.755	10-10	918.940	10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-26.348	10-0	-40.123	10-0

Tabelle 4.31: Extremwerte im Fall B₁

Wird bei der Sanierung 1 kein Schott nass, rentiert sich der Roof Protector nicht. In allen anderen Fällen ist die Wirtschaftlichkeit gegeben. Dass zumindest ein Schott durchnässt ist, ist als wahrscheinlich zu bewerten.

4.5.4.4 Auswertung der LLCR im Fall B₂

Im Fall B₁ gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 1
- Anzahl der Komplettaustausche: 0
- Gebäudenutzungsdauer: 50 Jahre
- Lebensdauer der Abdichtung: 30 Jahre
- Lebensdauer der Wärmedämmung: 50 Jahre
- Lebensdauer der diffusionshemmenden Schicht: 50 Jahre
- 65 Kombinationsmöglichkeiten
- Am Ende des Gebäudelebenszyklus sind alle Schotte und Felder trocken

Daraus resultieren maßgebende Zeitpunkte, welche in Tabelle 4.32 angegeben sind.

t=30 Jahre	t=50 Jahre
Sanierung 1	Ende ND

Tabelle 4.32: Maßgebende Zeitpunkte im Fall B₂

Zur Veranschaulichung des Kostenverlaufes wird in Abbildung 4.9 ein Symbolbild dargestellt.

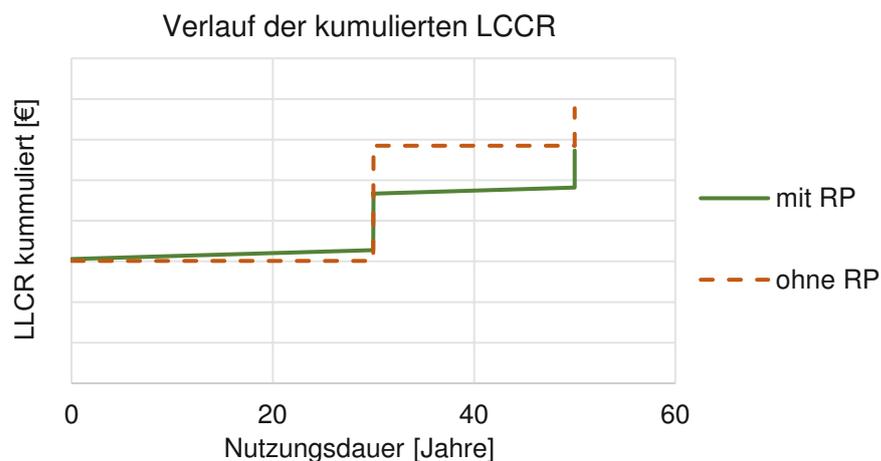


Abbildung 4.9: Symbolbild des Verlaufes der LLCR des Falles B₂

In diesem Fall sind 65 Kombinationen möglich.

Für EPS resultieren 13 Kombinationen, in denen der Roof Protector zumindest teilweise nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse dieser Kombinationen werden für EPS im Anhang W-B₂-EPS aufgelistet.

Für MW ergeben sich 10 nicht rentable Kombinationen für den Einsatz des Roof Protectors. Die unwirtschaftlichen Ergebnisse sind in Anhang W-B₂-MW dargestellt.

In Tabelle 4.33 sind die für den Roof Protector wirtschaftlichste und unwirtschaftlichste Kombination, jeweils getrennt in EPS und MW, aufgelistet.

		unverzinst		EWR	
		Einsparung absolut [€]	Parameter [m-S ₁]	Einsparung absolut [€]	Parameter [m-S ₁]
EPS	wirtschaftlichste Kombination	249.405	10-10	683.355	10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-40.948	10-0	-92.389	10-0
MW	wirtschaftlichste Kombination	457.155	10-10	1.238.407	10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-40.948	10-0	-92.389	10-0

Tabelle 4.33: Extremwerte im Fall B₂

Wird das Flachdach mit MW gedämmt und wird bei der Sanierung 1 kein Schott nass, rentiert sich der Roof Protector nicht. In allen anderen Kombinationen ist die Wirtschaftlichkeit gegeben.

Beim Einsatz von EPS sind die Ergebnisse gestaffelt nach der Gesamtanzahl von Schotten. Wirtschaftliche Ergebnisse für den Einsatz des Roof Protectors der unverzinsten Berechnung sind:

- 1 bis 7 Schotte: mind. ein Schott muss nass sein
- 8 bis 10 Schotte: mind. zwei Schotte müssen nass sein

Gem. EWR ergeben sich folgende Resultate:

- 1 bis 8 Schotte: mind. ein Schott muss nass sein
- 9 und 10 Schotte: mind. zwei Schotte müssen nass sein

Zusammenfassend ist der Roof Protector bei Dächern mit einer Dachfläche von bis zu 2.500 m² und 30 cm Wärmedämmung in jedem Fall wirtschaftlich, wenn in der Variante K min. zwei Schotte bei der Sanierung 1 nass werden würden. Beim Einsatz von Mineralwolle-dämmungen ist die Wirtschaftlichkeit schneller gegeben als bei EPS.

Je größer demnach das Flachdach ist, desto mehr Schotte müssen nass werden, um eine Wirtschaftlichkeit des Roof Protectors zu erreichen. Dass am Ende der Lebensdauer der Abdichtung zumindest ein Schott durchnässt ist, ist als wahrscheinlich zu bewerten.

4.5.4.5 Auswertung der LLCR im Fall C₁

Im Fall B₁ gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 0
- Anzahl der Komplettaustausche: 1
- Gebäudenutzungsdauer: 50 Jahre
- Lebensdauer der Abdichtung: 35 Jahre
- Lebensdauer der Wärmedämmung: 35 Jahre
- Lebensdauer der diffusionshemmenden Schicht: 35 Jahre
- 65 Kombinationsmöglichkeiten
- Am Ende des Gebäudelebenszyklus sind alle Schotte und Felder trocken

Daraus resultieren maßgebende Zeitpunkte, welche in Tabelle 4.34 angegeben sind.

t=35 Jahre	t= 50 Jahre
Komplettaustausch	Ende ND

Tabelle 4.34: Maßgebende Zeitpunkte im Fall C₁

Zur Veranschaulichung des Kostenverlaufes wird in Abbildung 4.10 ein Symbolbild dargestellt.

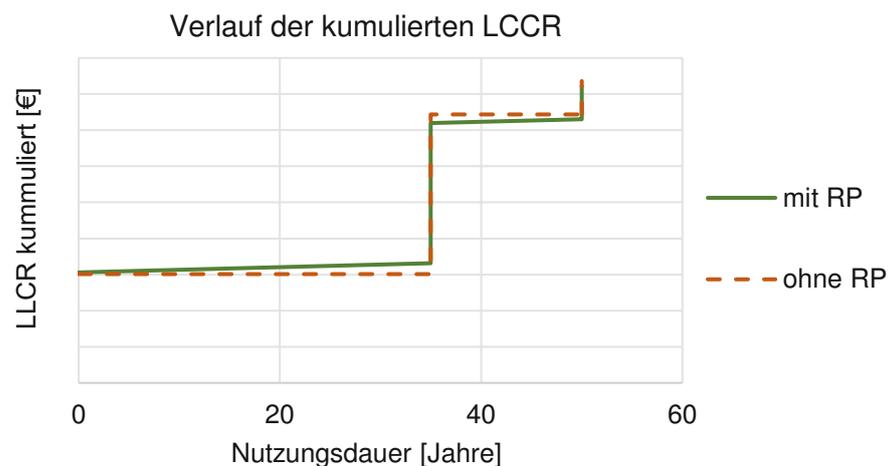


Abbildung 4.10: Symbolbild des Verlaufes der LLCR des Falles C₁

In diesem Fall sind 65 Kombinationen möglich.

Für EPS resultieren 25 Kombinationen, in denen der Roof Protector zumindest teilweise nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse dieser Kombinationen werden für EPS im Anhang W-C₁-EPS aufgelistet.

Für MW ergeben sich 19 zum Teil nicht rentable Kombinationen für den Einsatz des Roof Protectors. Die unwirtschaftlichen Ergebnisse sind in Anhang W-C₁-MW dargestellt.

In Tabelle 4.35 sind die für den Roof Protector wirtschaftlichste und unwirtschaftlichste Kombination, jeweils getrennt in EPS und MW, aufgelistet.

		unverzinst		EWR	
		Einsparung absolut [€]	Parameter [m-KA]	Einsparung absolut [€]	Parameter [m-KA]
EPS	wirtschaftlichste Kombination	62.905	10-10	234.076	10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-34.595	10-0	-72.777	10-0
MW	wirtschaftlichste Kombination	107.905	10-10	375.700	10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-34.595	10-0	-72.777	10-0

Tabelle 4.35: Extremwerte im Fall C₁

Wird beim Komplettaustausch kein Schott nass, rentiert sich der Roof Protector nicht.

Beim Einsatz von EPS sind die Ergebnisse gestaffelt nach der Gesamtanzahl von Schotten. Wirtschaftliche Ergebnisse für den Einsatz des Roof Protectors der unverzinsten Berechnung sind:

- 1 bis 2 Schotte: mind. ein Schott muss nass sein
- 3 bis 5 Schotte: mind. zwei Schotte müssen nass sein
- 6 bis 8 Schotte: mind. drei Schotte müssen nass sein
- 8 bis 10 Schotte: mind. vier Schotte müssen nass sein

Gem. EWR ergeben sich folgende Resultate:

- 1 bis 3 Schotte: mind. ein Schott muss nass sein
- 4 bis 8 Schotte: mind. zwei Schotte müssen nass sein
- 9 bis 10 Schotte: mind. drei Schotte müssen nass sein

Zusammenfassend ist der Roof Protector bei Dächern mit einer Dachfläche von bis zu 2.500 m² und 30 cm Wärmedämmung in jedem Fall wirtschaftlich, wenn in der Variante K min. vier Schotte beim Komplettaustausch nass werden würden. Beim Einsatz von Mineralwollgedämmungen ist die Wirtschaftlichkeit schneller gegeben als bei EPS.

4.5.4.6 Auswertung der LLCR im Fall C₂

Im Fall B₁ gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 0
- Anzahl der Komplettaustausche: 1
- Gebäudenutzungsdauer: 70 Jahre
- Lebensdauer der Abdichtung: 35 Jahre
- Lebensdauer der Wärmedämmung: 35 Jahre
- Lebensdauer der diffusionshemmenden Schicht: 35 Jahre
- 506 Kombinationsmöglichkeiten
- Am Ende des Gebäudelebenszyklus sind nicht alle Schotte und Felder trocken. Daher wird unterschieden ob und viele Schotte bei der Entsorgung nass sind.

Daraus resultieren maßgebende Zeitpunkte, welche in Tabelle 4.36 angegeben sind.

t=35 Jahre	t= 70 Jahre
Komplettaustausch	Ende ND

Tabelle 4.36: Maßgebende Zeitpunkte im Fall C₂

Zur Veranschaulichung des Kostenverlaufes wird in Abbildung 4.11 ein Symbolbild dargestellt.

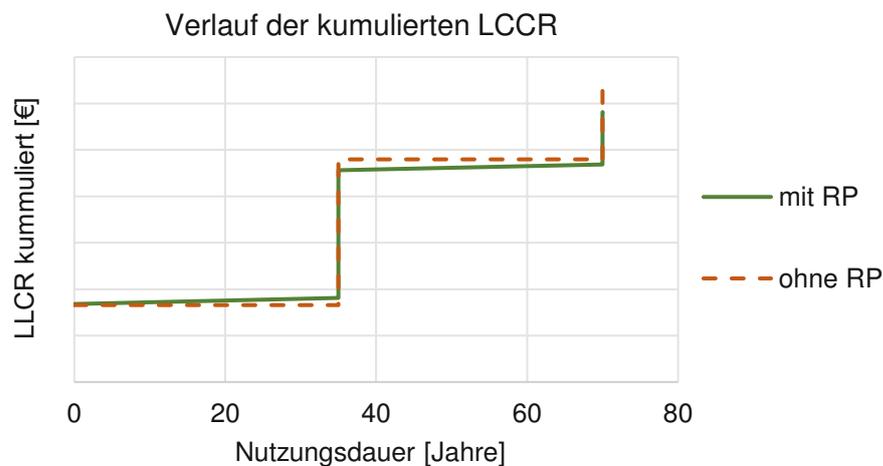


Abbildung 4.11: Symbolbild des Verlaufes der LLCR des Falles C₂

In diesem Fall sind 506 Kombinationen möglich.

Für EPS resultieren 93 Kombinationen, in denen der Roof Protector zumindest teilweise nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse dieser Kombinationen werden für EPS im Anhang W-C₂-EPS aufgelistet.

Für MW ergeben sich 52 zum Teil nicht rentable Kombinationen für den Einsatz des Roof Protectors. Die unwirtschaftlichen Ergebnisse sind in Anhang W-C₂-MW dargestellt.

In Tabelle 4.37 sind die für den Roof Protector wirtschaftlichste und unwirtschaftlichste Kombination, jeweils getrennt in EPS und MW, aufgelistet.

		unverzinst		EWR	
		Einsparung absolut [€]	Parameter [m-KA-E]	Einsparung absolut [€]	Parameter [m-KA-E]
EPS	wirtschaftlichste Kombination	144.780	10-10-10	1.089.854	10-10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-50.220	10-0-0	-182.410	10-0-0
MW	wirtschaftlichste Kombination	234.780	10-10-10	1.677.052	10-10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-50.220	10-0-0	-182.410	10-0-0

Tabelle 4.37: Extremwerte im Fall C₂

Beim Einsatz von EPS sind die Ergebnisse gestaffelt nach der Gesamtanzahl von Schotten. Wirtschaftliche Ergebnisse für den Einsatz des Roof Protectors bei einer Dachfläche von bis zu 2.500 m² und 30 cm Wärmedämmung sind jedenfalls (Details siehe Anhang):

- 1 Schott: Ein Schott muss entweder bei der Entsorgung oder beim Kompletttausch nass sein
- 2 -3 Schotte: mind. ein Schott muss bei der Entsorgung und beim Kompletttausch nass sein
- 4 -6 Schotte: mind. zwei Schotte müssen bei der Entsorgung und beim Kompletttausch nass sein
- 7-10 Schotte: mind. drei Schotte müssen bei der Entsorgung und beim Kompletttausch nass sein

Ist mehr als die Hälfte der Gesamtanzahl der Schotte bei der Entsorgung nass rentiert sich der RP unabhängig vom Kompletttausch. Detaillierte Ergebnisse befinden sich im Anhang.

Beim Einsatz von Mineralwolledämmungen ist die Wirtschaftlichkeit schneller gegeben als bei EPS.

4.5.4.7 Auswertung der LLCR im Fall D₁

Im Fall B₁ gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 1
- Anzahl der Komplettaustausche: 1
- Gebäudenutzungsdauer: 50 Jahre
- Lebensdauer der Abdichtung: 20 Jahre
- Lebensdauer der Wärmedämmung: 40 Jahre
- Lebensdauer der diffusionshemmenden Schicht: 40 Jahre
- 506 Kombinationsmöglichkeiten
- Am Ende des Gebäudelebenszyklus sind alle Schotte und Felder trocken

Daraus resultieren maßgebende Zeitpunkte, welche in Tabelle 4.38 angegeben sind.

t=20 Jahre	t=40 Jahre	t= 50 Jahre
Sanierung 1	Komplettaustausch	Ende ND

Tabelle 4.38: Maßgebende Zeitpunkte im Fall D₁

Zur Veranschaulichung des Kostenverlaufes wird in Abbildung 4.12 ein Symbolbild dargestellt.

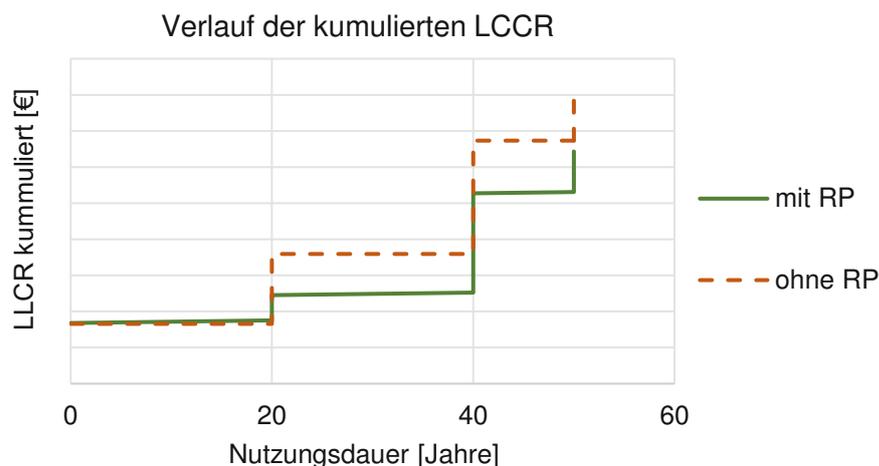


Abbildung 4.12: Symbolbild des Verlaufes der LLCR des Falles D₁

In diesem Fall sind 506 Kombinationen möglich.

Für EPS resultieren 27 Kombinationen, in denen der Roof Protector zumindest teilweise nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse dieser Kombinationen werden für EPS im Anhang W-D₁-EPS aufgelistet.

Für MW ergeben sich 19 zum Teil nicht rentable Kombinationen für den Einsatz des Roof Protectors. Die unwirtschaftlichen Ergebnisse sind in Anhang W-D₁-MW dargestellt.

In Tabelle 4.39 sind die für den Roof Protector wirtschaftlichste und unwirtschaftlichste Kombination, jeweils getrennt in EPS und MW, aufgelistet.

		unverzinst		EWR	
		Einsparung absolut [€]	Parameter [m-S ₁ -KA]	Einsparung absolut [€]	Parameter [m-S ₁ -KA]
EPS	wirtschaftlichste Kombination	352.457	10-10-10	849.308	10-10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-35.395	10-0-0	-71.207	10-0-0
MW	wirtschaftlichste Kombination	605.207	10-10-10	1.416.145	10-10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-35.395	10-0-0	-71.207	10-0-0

Tabelle 4.39: Extremwerte im Fall D₁

Beim Einsatz von EPS sind die Ergebnisse gestaffelt nach der Gesamtanzahl von Schotten. Wirtschaftliche Ergebnisse für den Einsatz des Roof Protectors bei einer Dachfläche von bis zu 2.500 m² und 30 cm Wärmedämmung sind jedenfalls (Details siehe Anhang):

- 1-2 Schotte: mind. ein Schott muss entweder bei der Sanierung oder beim Komplettaustausch nass sein
- 2 -8 Schotte: mind. ein Schott muss bei der Entsorgung und beim Komplettaustausch nass sein

Beim Einsatz von Mineralwolledämmungen ist die Wirtschaftlichkeit bereits ab einem nassen Schott gegeben.

4.5.4.8 Auswertung der LLCR im Fall D₂

Im Fall B₁ gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 1
- Anzahl der Komplettaustausche: 1
- Gebäudenutzungsdauer: 70 Jahre
- Lebensdauer der Abdichtung: 30 Jahre
- Lebensdauer der Wärmedämmung: 50 Jahre
- Lebensdauer der diffusionshemmenden Schicht: 50 Jahre
- 506 Kombinationsmöglichkeiten
- Am Ende des Gebäudelebenszyklus sind alle Schotte und Felder trocken

Daraus resultieren maßgebende Zeitpunkte, welche in Tabelle 4.40 angegeben sind.

t=30 Jahre	t=50 Jahre	t= 70 Jahre
Sanierung 1	Komplettaustausch	Ende ND

Tabelle 4.40: Maßgebende Zeitpunkte im Fall D₂

Zur Veranschaulichung des Kostenverlaufes wird in Abbildung 4.13 ein Symbolbild dargestellt.

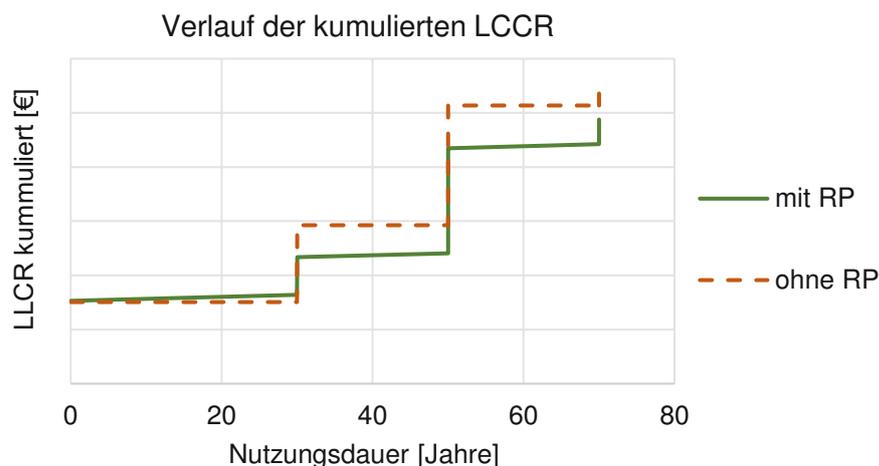


Abbildung 4.13: Symbolbild des Verlaufes der LLCR des Falles D₂

In diesem Fall sind 506 Kombinationen möglich.

Für EPS resultieren 46 Kombinationen, in denen der Roof Protector zumindest teilweise nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse dieser Kombinationen werden für EPS im Anhang W-D₂-EPS aufgelistet.

Für MW ergeben sich 27 zum Teil nicht rentable Kombinationen für den Einsatz des Roof Protectors. Die unwirtschaftlichen Ergebnisse sind in Anhang W-D₂-MW dargestellt.

In Tabelle 4.41 sind die für den Roof Protector wirtschaftlichste und unwirtschaftlichste Kombination, jeweils getrennt in EPS und MW, aufgelistet.

		unverzinst		EWR	
		Einsparung absolut [€]	Parameter [m-S ₁ -KA]	Einsparung absolut [€]	Parameter [m-S ₁ -KA]
EPS	wirtschaftlichste Kombination	337.857	10-10-10	1.113.996	10-10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-49.995	10-0-0	-163.311	10-0-0
MW	wirtschaftlichste Kombination	590.607	10-10-10	1.900.540	10-10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-49.995	10-0-0	-163.311	10-0-0

Tabelle 4.41: Extremwerte im Fall D₂

Beim Einsatz von EPS sind die Ergebnisse gestaffelt nach der Gesamtanzahl von Schotten. Wirtschaftliche Ergebnisse für den Einsatz des Roof Protectors bei einer Dachfläche von bis zu 2.500 m² und 30 cm Wärmedämmung sind jedenfalls (Details siehe Anhang):

- 1-7 Schotte: mind. ein Schott muss bei der Sanierung und beim Kompletttausch nass sein
- 8 -10 Schotte: mind. zwei Schotte müssen bei der Entsorgung und beim Kompletttausch nass sein

Beim Einsatz von Mineralwolledämmungen ist die Wirtschaftlichkeit schneller gegeben als bei EPS.

4.5.4.9 Auswertung der LLCR im Fall E

Im Fall B_1 gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 2
- Anzahl der Komplettaustausche: 0
- Gebäudenutzungsdauer: 50 Jahre
- Lebensdauer der Abdichtung: 20 Jahre
- Lebensdauer der Wärmedämmung: 50 Jahre
- Lebensdauer der diffusionshemmenden Schicht: 50 Jahre
- 506 Kombinationsmöglichkeiten
- Am Ende des Gebäudelebenszyklus sind alle Schotte und Felder trocken

Daraus resultieren maßgebende Zeitpunkte, welche in Tabelle 4.42 angegeben sind.

t=20 Jahre	t=40 Jahre	t= 50 Jahre
Sanierung 1	Sanierung 2	Ende ND

Tabelle 4.42: Maßgebende Zeitpunkte im Fall E

Zur Veranschaulichung des Kostenverlaufes wird in Abbildung 4.14 ein Symbolbild dargestellt.

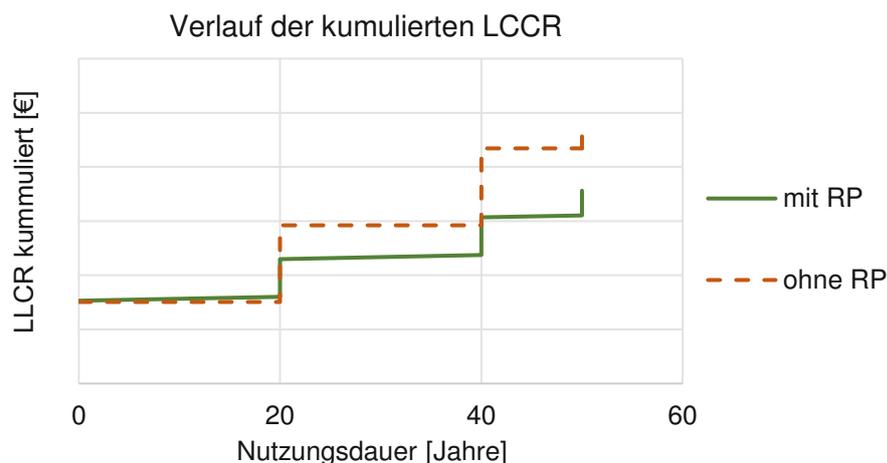


Abbildung 4.14: Symbolbild des Verlaufes der LCCR des Falles E

In diesem Fall sind 506 Kombinationen möglich.

Für EPS resultieren 19 Kombinationen, in denen der Roof Protector zumindest teilweise nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse dieser Kombinationen werden für EPS im Anhang W-E-EPS aufgelistet.

Für MW ergeben sich 10 nicht rentable Kombinationen für den Einsatz des Roof Protectors. Die unwirtschaftlichen Ergebnisse sind in Anhang W-E-MW dargestellt.

In Tabelle 4.43 sind die für den Roof Protector wirtschaftlichste und unwirtschaftlichste Kombination, jeweils getrennt in EPS und MW, aufgelistet.

		unverzinst		EWR	
		Einsparung absolut [€]	Parameter [m-S ₁ -S ₂]	Einsparung absolut [€]	Parameter [m-S ₁ -S ₂]
EPS	wirtschaftlichste Kombination	538.957	10-10-10	1.540.719	10-10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-41.748	10-0-0	-94.757	10-0-0
MW	wirtschaftlichste Kombination	954.457	10-10-10	2.710.918	10-10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-41.748	10-0-0	-94.757	10-0-0

Tabelle 4.43: Extremwerte im Fall E

Beim Einsatz von EPS sind die Ergebnisse gestaffelt nach der Gesamtanzahl von Schotten. Wirtschaftliche Ergebnisse für den Einsatz des Roof Protectors bei einer Dachfläche von bis zu 2.500 m² und 30 cm Wärmedämmung sind jedenfalls (Details siehe Anhang):

- 1-10 Schotte: mind. ein Schott muss bei jeder Sanierung nass sein oder mind. zwei Schotte pro Sanierung

Beim Einsatz von Mineralwolledämmungen ist die Wirtschaftlichkeit schneller gegeben als bei EPS.

4.5.4.10 Auswertung der LLCR im Fall F

Im Fall B_1 gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 2
- Anzahl der Komplettaustausche: 1
- Gebäudenutzungsdauer: 70 Jahre
- Lebensdauer der Abdichtung: 20 Jahre
- Lebensdauer der Wärmedämmung: 40 Jahre
- Lebensdauer der diffusionshemmenden Schicht: 40 Jahre
- 4355 Kombinationsmöglichkeiten
- Am Ende des Gebäudelebenszyklus sind alle Schotte und Felder trocken

Daraus resultieren maßgebende Zeitpunkte, welche in Tabelle 4.44 angegeben sind.

t=20 Jahre	t=40 Jahre	t=60 Jahre	t= 70 Jahre
Sanierung 1	Komplettaustausch	Sanierung 2	Ende ND

Tabelle 4.44: Maßgebende Zeitpunkte im Fall F

Zur Veranschaulichung des Kostenverlaufes wird in Abbildung 4.15 ein Symbolbild dargestellt.

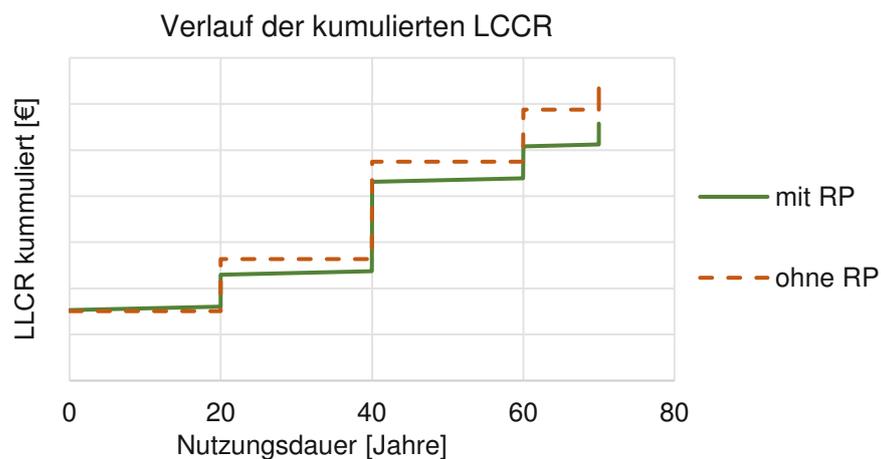


Abbildung 4.15: Symbolbild des Verlaufes der LLCR des Falles F

In diesem Fall sind 4355 Kombinationen möglich.

Für EPS resultieren 68 Kombinationen, in denen der Roof Protector zumindest teilweise nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse dieser Kombinationen werden für EPS im Anhang W-F-EPS aufgelistet.

Für MW ergeben sich 33 zum Teil nicht rentable Kombinationen für den Einsatz des Roof Protectors. Die unwirtschaftlichen Ergebnisse sind in Anhang W-F-MW dargestellt.

In Tabelle 4.45 sind die für den Roof Protector wirtschaftlichste und unwirtschaftlichste Kombination, jeweils getrennt in EPS und MW, aufgelistet.

		unverzinst		EWR	
		Einsparung absolut [€]	Parameter [m-S ₁ -S ₂ -KA]	Einsparung absolut [€]	Parameter [m-S ₁ -S ₂ -KA]
EPS	wirtschaftlichste Kombination	627.410	10-10-10-10	2.816.692	10-10-10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-50.795	10-0-0-0	-176.403	10-0-0-0
MW	wirtschaftlichste Kombination	1.087.910	10-10-10-10	4.866.480	10-10-10-10
	unwirtschaftlichste Kombination	-50.795	10-0-0-0	-176.403	10-0-0-0

Tabelle 4.45: Extremwerte im Fall F

Wirtschaftliche Ergebnisse für den Einsatz des Roof Protectors bei einer Dachfläche von bis zu 2.500 m² und 30 cm Wärmedämmung sind jedenfalls (Details siehe Anhang):

- 1-10 Schotte: mind. ein Schott muss bei jeder Sanierung/Kompletttausch nass sein

Beim Einsatz von Mineralwolledämmungen ist die Wirtschaftlichkeit schneller gegeben als bei EPS.

4.6 Ökologischer Vergleich

Dieses Kapitel ist die ökologische Analogie zum Kapitel 4.5, in dem der ökonomische Vergleich berechnet und dargelegt wird.

4.6.1 Besondere Modellgrenzen im ökologischen Vergleich

Die Daten, die dieser Berechnung zugrunde liegen, stammen aus der sogenannten „ÖKO-BAUDAT“. Das ist eine Datenbank mit Ökobilanz-Datensätzen, die das deutsche Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat für die Ökobilanzierung von Bauwerken zur Verfügung stellt. Die Datenbank enthält von den verschiedensten Baumaterialien die Bau-, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozesse, also Prozesse über den gesamten Lebenszyklus. Erwähnenswert ist, dass diese Plattform unter der Mitwirkung vieler Partner entstanden ist. Auch das IBO, das Österreichische Institut für Bauen und Ökologie GmbH ist hierbei beteiligt. [55; 56]

Allerdings stehen keine ökologischen Daten zur Entsorgung von nassem EPS bzw. Mineralwolle zur Verfügung. Daher resultiert eine Modellgrenze dahingehend, dass alle Prozesse und besonders die Entsorgung von nassem EPS und Mineralwolle, wie die Prozesse und Entsorgung von trockenem EPS bzw. Mineralwolle ablaufen und auch ökologisch beurteilt werden.

Eine weitere Modellgrenze ist, dass die Umweltauswirkungen des Systems Roof Protector nicht bekannt sind. Eine entsprechende Umweltdeklaration der Hersteller liegt nicht vor. Auch eine Angabe über die Ökologie der zwingend erforderlichen AA-Batterien kann nicht erbracht werden, weil die Hersteller und einschlägigen Umweltschutzinstitutionen selbst keine Informationen besitzen oder veröffentlichen. Informationen über veröffentlichte, wissenschaftliche Studien in diesem Bereich liegen nicht vor. Darüber hinaus werden im Vergleich die Umweltbelastungen, welche aus dem Betrieb der Server und der elektronischen Hilfsmittel resultieren ebenfalls nicht berücksichtigt, weil sie nicht wissenschaftlich begründbar abgeschätzt werden können.

Der ökologische Vergleich ist demnach ein Vergleich auf rein baulicher Ebene. Durch die oben genannten Einschränkungen und der Berücksichtigung der Abschottung in der Variante K, kann das System Roof Protector in keiner Kombination unökologisch sein. Daher ist das Ziel dieses Vergleiches, das mögliche bauliche Einsparungspotenzial aufzuzeigen.

4.6.2 Eingrenzungen der Fälle A bis F

Die Umweltbelastungen, die im vorliegenden Modell anfallen sind nicht zeitabhängig. Daher können die Fälle A bis F vereinfacht werden. Die der ökologischen Betrachtung zugrunde gelegten Fälle sind in Tabelle 4.46 abgebildet.

	Fall					
	A	B	C	D	E	F
Anzahl Sanierungen [-]	0	1	0	1	2	2
Anzahl Komplettaustausch [-]	0	0	1	1	0	1

Tabelle 4.46: Übersicht der Fälle im ökologischen Vergleich

4.6.3 Ökologische Auswirkungen pro Schott/Feld

In der ökologischen Betrachtung werden, wie in Kapitel 2.5 beschrieben, der GWP und der $PEB_{n.e.}$ als Beurteilungsparameter herangezogen. Die in Tabelle 4.47 angeführten Eingangskenngrößen beinhalten die Herstellung der Materialien, den Transport und die Entsorgung. [55]

	GWP [kg/m ²]	$PEB_{n.e.}$ [kWh]
Bitumendachbahn 1-lagig	2,45	53,36
EPS	24,43	89,22
MW	64,84	185,99

Tabelle 4.47: Berechnungsgrundlagen im ökologischen Vergleich [55]

Zuerst werden Umweltauswirkungen im Lebenszyklus eines Schottes/Feldes ohne eine mögliche Sanierung und ohne Komplettaustausch berechnet. Danach werden die ökologischen Konsequenzen einer Sanierung ermittelt.

4.6.3.1 Umweltauswirkungen im Lebenszyklus eines Feldes ohne Sanierung und ohne Komplettaustausch (Variante RP)

Die ökologischen Auswirkungen werden zuerst pro Quadratmeter berechnet und im Anschluss auf ein Feld hochgerechnet.

Der GWP und der $PEB_{n.e.}$ werden in dieser Konstellation, unter der Annahme einer bituminösen diffusionshemmenden Schicht, folgendermaßen berechnet:

$$GWP_{0,EPS,RP} = (2 \cdot 2,45 + 24,43 + 2,45) \cdot 250 = 7948 \frac{kg}{Feld} \quad (4-43)$$

$$PEB_{n.e.,0,EPS,RP} = (2 \cdot 53,36 + 89,22 + 53,36) \cdot 250 = 62.325 \frac{kWh}{Feld} \quad (4-44)$$

$$GWP_{0,MW,RP} = (2 \cdot 2,45 + 64,84 + 2,45) \cdot 250 = 18.051 \frac{kg}{Feld} \quad (4-45)$$

$$PEB_{n.e.,0,MW,RP} = (2 \cdot 53,36 + 185,99 + 53,36) \cdot 250 = 86.516 \frac{kWh}{Feld} \quad (4-46)$$

mit

$GWP_{0,EPS,RP}$ GWP im Lebenszyklus eines Feldes ohne Sanierung/Komplettaustausch mit EPS Dämmung in der Variante RP [kg/Feld]

$PEB_{n.e.,0,EPS,RP}$ $PEB_{n.e.}$ im Lebenszyklus eines Feldes ohne Sanierung/Komplettaustausch mit EPS Dämmung in der Variante RP [kWh/Feld]

$GWP_{0,MW,RP}$ GWP im Lebenszyklus eines Feldes ohne Sanierung/Komplettaustausch mit MW Dämmung in der Variante RP [kg/Feld]

$PEB_{n.e.,0,MW,RP}$ $PEB_{n.e.}$ im Lebenszyklus eines Feldes ohne Sanierung/Komplettaustausch mit MW Dämmung in der Variante RP [kWh/Feld]

Da in der Variante RP die Felder nicht nass werden, gelten die in Gleichung 4-43 bis 4-46 berechneten Auswirkungen im selben Ausmaß auch für den Komplettaustausch.

4.6.3.2 Umweltauswirkungen im Lebenszyklus eines Schottes ohne Sanierung und ohne Komplettaustausch (Variante K)

Die in Kapitel 4.6.3.1 angeführten Berechnungen werden in diese Konstellation weiterverwendet. Zu diesen sind in der Variante K die ökologischen Konsequenzen der Abschottung zu addieren. Dazu ist im ersten Schritt in Tabelle 4.48 die durchschnittliche Fläche der Abschottung pro Schott berechnet. Pro Laufmeter Abschottung werden 0,9 m² Materialbedarf in Rechnung gestellt.

		Anzahl der Seitenlängen [-]	Seitenlänge Schott [m]	Länge gesamt [m]	Länge/Schott [m/Schott]	Fläche/Schott [m ² /Schott]
Anzahl der Schotte	1	0	15,81	0,00	0,00	0,00
	2	1		15,81	7,91	7,12
	3	2		31,62	10,54	9,49
	4	4		63,25	15,81	14,23
	5	5		79,06	15,81	14,23
	6	7		110,68	18,45	16,60
	7	8		126,49	18,07	16,26
	8	10		158,11	19,76	17,79
	9	11		173,93	19,33	17,39
	10	12		189,74	18,97	17,08

Tabelle 4.48: Berechnung der Abschottungsflächen pro Schott

Im nächsten Schritt werden die Umweltauswirkungen aus Tabelle 4.47 mit den Flächen der Abschottung aus Tabelle 4.48 multipliziert. Der Index „A“ steht dabei für Abschottung.

		GWP _A [kg/Schott]	PEB _{n,e,A} [kWh/Schott]
Anzahl der Schotte	1	0	0
	2	17	380
	3	23	506
	4	35	759
	5	35	759
	6	41	886
	7	40	868
	8	44	949
	9	43	928
	10	42	911

Tabelle 4.49: Umweltauswirkungen bei Verwendung der Abschottung pro Schott

Durch Summation der Ergebnisse der Gleichungen 4-43 bis 4-46 mit den entsprechenden Werten aus Tabelle 4.49 ergeben sich die gesamten Auswirkungen (Tabelle 4.50) im der Variante K.

		GWP _{0,EP,S,K} [kg/Schott]	PEB _{n.e.,0,EP,S,K} [kWh/Schott]	GWP _{0,MW,K} [kg/Schott]	PEB _{n.e.,0,MW,K} [kWh/Schott]
Anzahl der Schotte	1	7.948	62.325	18.051	86.516
	2	7.965	62.705	18.068	86.896
	3	7.971	62.831	18.074	87.022
	4	7.983	63.084	18.086	87.276
	5	7.983	63.084	18.086	87.276
	6	7.989	63.211	18.092	87.402
	7	7.988	63.193	18.091	87.384
	8	7.992	63.274	18.095	87.465
	9	7.991	63.253	18.094	87.444
	10	7.990	63.236	18.093	87.427

Tabelle 4.50: Umweltauswirkungen im Lebenszyklus eines Schottes ohne Sanierung und ohne Komplettaustausch

Da in der ökologischen Betrachtung die Unterschiede zwischen der Entsorgung eines nassen und eines trockenen Schottes nicht vorgenommen werden, gelten die Ergebnisse aus Tabelle 4.50 auch für den Komplettaustausch.

4.6.3.3 Umweltauswirkungen einer Sanierung eines Feldes (Variante RP)

Bei einer Sanierung der Variante RP muss nur die Abdichtung gewechselt werden. Die Auswirkungen berechnen sich wie folgt:

$$GWP_{S,RP} = 2 \cdot 2,45 \cdot 250 = 1.227 \frac{kg}{Feld} \quad (4-47)$$

$$PEB_{n.e.,S,RP} = 2 \cdot 53,36 \cdot 250 = 26.680 \frac{kWh}{Feld} \quad (4-48)$$

mit

GWP_{S,RP} GWP einer Sanierung in der Variante RP [kg/Feld]

PEB_{n.e.,S,RP} PEB_{n.e} einer Sanierung in der Variante RP [kWh/Feld]

4.6.3.4 Umweltauswirkungen einer Sanierung eines Schottes (Variante K)

Zunächst muss unterschieden werden, ob ein Schott nass oder trocken ist. Ist es trocken, resultieren die gleichen Umweltauswirkungen, wie sie in den Gleichungen 4-47 und 4-48 angegeben sind.

Ist das Schott nass, muss die Abdichtung und die Wärmedämmung getauscht werden. Für die Berechnung wird zunächst die Umweltbelastung der diffusionshemmenden Schicht pro Schott berechnet.

$$GWP_{diff} = 2,45 \cdot 250 = 613 \frac{kg}{Schott} \quad (4-49)$$

$$PEB_{n.e.,diff} = 53,36 \cdot 250 = 13.340 \frac{kWh}{Schott} \quad (4-50)$$

mit

GWP_{diff} GWP der diffusionshemmenden Schicht [kg/Schott]

$PEB_{n.e.,diff}$ $PEB_{n.e}$ der diffusionshemmenden Schicht [kWh/ Schott]

Die Auswirkungen der Sanierung werden mit Hilfe der Tabelle 4.50 unter Abzug der Gleichungen 4-49 und 4-50 berechnet zu:

		$GWP_{S,EPS,K}$ [kg/Schott]	$PEB_{n.e.,S,EPS,K}$ [kWh/Schott]	$GWP_{S,MW,K}$ [kg/Schott]	$PEB_{n.e.,S,MW,K}$ [kWh/Schott]
Anzahl der Schotte	1	7.335	48.985	17.438	73.176
	2	7.352	49.365	17.455	73.556
	3	7.358	49.492	17.461	73.683
	4	7.370	49.745	17.473	73.936
	5	7.370	49.745	17.473	73.936
	6	7.375	49.871	17.478	74.062
	7	7.375	49.853	17.478	74.044
	8	7.378	49.934	17.481	74.126
	9	7.377	49.913	17.480	74.105
	10	7.377	49.897	17.480	74.088

Tabelle 4.51: Umweltauswirkungen bei auszutauschender Wärmedämmung eines Schottes

4.6.4 Fallauswertung

Um die Berechnung der Fälle aus Kapitel 4.6.2 transparent darzustellen, wird anhand des Falles F eine Beispielskombination berechnet. Im Anschluss folgt die generelle Auswertung aller Fälle und deren Kombinationsmöglichkeiten.

Da die zeitliche Betrachtung keine Rolle spielt, weil keine zeitabhängigen Umweltbelastungen entstehen, werden keine Nutzungs- und Lebensdauern angegeben.

Beim Komplettaustausch wird nicht zwischen nassem und trockenem Schott unterschieden. Dadurch wird angenommen, dass die Umweltbelastungen in etwa gleich groß sind, weshalb eine Verringerung der maximal denkbaren Kombinationen resultiert. Die Anzahl der Kombinationen wird noch weiter verringert, weil die Zeitpunkte der Sanierung nicht relevant sind.

Beispiel 7: In der Sanierung 1 werden drei Schotte nass und in der Sanierung 2 werden fünf Schotte nass. Die Umweltbelastungen sind ident mit jener Kombination, in welcher in der Sanierung 1 fünf Schotte nass werden und in der Sanierung 2 drei Schotte nass werden. Die beiden Kombinationen sind zueinander kongruent.

Daher werden die zueinander kongruenten Ergebnisse im Anhang nicht dargestellt.

In der ökologischen Betrachtung kann das System Roof Protector aufgrund der Modellgrenzen ausschließlich ökologischer sein. Die Extremwerte des jeweiligen Falles werden im jeweiligen Kapitel des Falles angegeben. Detaillierte Ergebnisse befinden sich im Anhang.

4.6.4.1 Auswertung einer Beispielskombination des Falles F

Im Fall F gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen :

- Anzahl der Sanierungen: 2
- Anzahl der Komplettaustausche: 1

Anhand der der Bespielkombination ($m=10$; $S_1 = 2$; $S_2 = 3$; KA: Ja; EPS) werden von 10 Schotten bei der Sanierung 1 zwei Schotte und bei der Sanierung 2 drei Schotte nass. Ebenfalls wird ein Komplettaustausch berücksichtigt. Durch diese Festlegung können die Umweltauswirkungen des ganzen Flachdaches berechnet werden. Die zugrunde gelegte Wärmedämmung ist EPS. Zuerst werden die ökologischen Konsequenzen der Variante RP berechnet:

$$\begin{aligned} GWP_{ges,EPS,RP} &= 10 \cdot GWP_{0,EPS,RP} + 10 \cdot GWP_{S,RP} + 10 \cdot GWP_{S,RP} + & (4-51) \\ &+ 10 \cdot GWP_{0,EPS,RP} = 10 \cdot 7.948 + 10 \cdot 1.227 + 10 \cdot 1.227 + 10 \cdot 7.948 = \\ &= 183.000 \text{ kg} = 183 \text{ t CO}_2 - \text{Äqui.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PEB_{n.e.,ges,EPS,RP} &= 10 \cdot PEB_{n.e.,0,EPS,RP} + 10 \cdot PEB_{n.e.,S,RP} + 10 \cdot PEB_{n.e.,S,RP} + & (4-52) \\ &+ 10 \cdot PEB_{n.e.,0,EPS,RP} = 10 \cdot 62.325 + 10 \cdot 26.680 + 10 \cdot 26.680 + 10 \cdot 62.325 = \\ &= 1.780.100 \text{ kWh} = 1.780 \text{ MWh} \end{aligned}$$

mit

$GWP_{ges,EPS,RP}$ gesamtes GWP im Lebenszyklus mit EPS Dämmung in der Variante RP [t CO₂-Äqui.]

$PEB_{n.e.,ges,EPS,RP}$ gesamter PEB_{n.e} im Lebenszyklus mit EPS Dämmung in der Variante RP [MWh]

Im Gegensatz dazu wird anschließend die Variante K für die Beispielkombination berechnet:

$$\begin{aligned} GWP_{ges,EPS,K} &= 10 \cdot GWP_{0,EPS,K} + 2 \cdot GWP_{S,EPS,K} + 8 \cdot GWP_{S,RP} + 3 \cdot GWP_{S,EPS,K} + & (4-53) \\ &+ 7 \cdot GWP_{S,RP} + 10 \cdot GWP_{0,EPS,K} = 10 \cdot 7.990 + 2 \cdot 7.377 + 8 \cdot 1.227 + 3 \cdot 7.377 + \\ &+ 7 \cdot 1.227 + 10 \cdot 7.990 = 215.082 \text{ kg} = 215 \text{ t CO}_2 - \text{Äqui.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PEB_{n.e.,ges,EPS,K} &= 10 \cdot PEB_{n.e.,0,EPS,K} + 2 \cdot PEB_{n.e.,S,EPS,K} + 8 \cdot PEB_{n.e.,S,RP} & (4-54) \\ &+ 3 \cdot PEB_{n.e.,S,EPS,K} + 7 \cdot PEB_{n.e.,S,RP} + 10 \cdot PEB_{n.e.,0,EPS,K} = 10 \cdot 63.236 + \\ &+ 2 \cdot 49.897 + 8 \cdot 26.680 + 3 \cdot 49.897 + 7 \cdot 26.680 + 10 \cdot 63.236 = \\ &= 1.914.401 \text{ kWh} = 1.914 \text{ MWh} \end{aligned}$$

Die Differenzen der Umweltauswirkungen in dieser Kombination sind:

$$\Delta GWP = GWP_{ges,EPS,RP} - GWP_{ges,EPS,K} = 32 \text{ t CO}_2 - \text{Äqui.} \quad (4-55)$$

$$\Delta PEB_{n.e.} = PEB_{n.e.,ges,EPS,RP} - PEB_{n.e.,ges,EPS,K} = 134 \text{ MWh} \quad (4-56)$$

Demnach ist beim GWP eine relative, bauliche Einsparung von rund 15% und beim PEB_{n.e} von ca. 7% möglich.

Zur Veranschaulichung der Dimensionen des baulichen Einsparungspotenzials dieser Kombination werden Vergleichswerte angegeben: [57; 58]

- Um eine Tonne CO₂ aufzunehmen, muss eine Buche rund 80 Jahre wachsen

- Eine Tonne CO₂ entspricht einer Fahrt rund 4.900 Kilometer mit einem Auto, das pro hundert Kilometer 8,5 Liter Benzin verbraucht. Dies entspricht einer Hin- und Rückreise von Innsbruck nach Moskau
- Ein Zwei-Personen-Haushalt verbraucht pro Jahr rund 3,5 MWh Strom.

4.6.4.2 Auswertung des baulichen Einsparungspotenzials im Fall A

Im Fall A gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 0
- Anzahl der Komplettaustausche: 0
- Kombinationsmöglichkeiten: 10

Eine Auswertung der Extremwerte des ökologischen Vergleichs befindet sich in Tabelle 4.52.

		GWP			PEB _{n.e.}		
		absolut [t]	relativ [%]	Parameter [m-KA]	absolut [MWh]	relativ [%]	Parameter [m-KA]
EPS	min. Einsparung	0,0	0,0	1-Nein	0,0	0,0	1-Nein
	max. Einsparung	0,4	0,5	10-Nein	9,1	1,4	10-Nein
MW	min. Einsparung	0,0	0,0	1-Nein	0,0	0,0	1-Nein
	max. Einsparung	0,4	0,2	10-Nein	9,1	1,0	10-Nein

Tabelle 4.52: Extremwerte im Fall A

Die komplette Auswertung befindet sich in Anhang Ö-A-EPS und Ö-A-MW.

4.6.4.3 Auswertung des baulichen Einsparungspotenzials im Fall B

Im Fall B gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 1
- Anzahl der Komplettaustausche: 0
- Kombinationsmöglichkeiten: 65

Eine Auswertung der Extremwerte des ökologischen Vergleichs befindet sich in Tabelle 4.53.

		GWP			PEB _{n.e.}		
		absolut [t]	relativ [%]	Parameter [m-S ₁ -KA]	absolut [MWh]	relativ [%]	Parameter [m-S ₁ -KA]
EPS	min. Einsparung	0,0	0,0	1-0-Nein	0,0	0,0	1-0-Nein
	max. Einsparung	61,9	40,3	10-10-Nein	241,3	21,3	10-10-Nein
MW	min. Einsparung	0,0	0,0	1-0-Nein	0,0	0,0	1-0-Nein
	max. Einsparung	162,9	45,8	10-10-Nein	483,2	29,9	10-10-Nein

Tabelle 4.53: Extremwerte im Fall B

Die komplette Auswertung befindet sich in Anhang Ö-B-EPS und Ö-B-MW.

4.6.4.4 Auswertung des baulichen Einsparungspotenzials im Fall C

Im Fall C gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 0
- Anzahl der Komplettaustausche: 1
- Kombinationsmöglichkeiten: 10

Eine Auswertung der Extremwerte des ökologischen Vergleichs befindet sich in Tabelle 4.54.

		GWP			PEB _{n.e.}		
		absolut [t]	relativ [%]	Parameter [m-KA]	absolut [MWh]	relativ [%]	Parameter [m-KA]
EPS	min. Einsparung	0,0	0,0	1-Ja	0,0	0,0	1-Ja
	max. Einsparung	0,8	0,5	10-Ja	18,2	1,4	10-Ja
MW	min. Einsparung	0,0	0,0	1-Ja	0,0	0,0	1-Ja
	max. Einsparung	0,8	0,2	10-Ja	18,2	1,0	10-Ja

Tabelle 4.54: Extremwerte im Fall C

Die komplette Auswertung befindet sich in Anhang Ö-C-EPS und Ö-C-MW.

4.6.4.5 Auswertung des baulichen Einsparungspotenzials im Fall D

Im Fall D gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 1
- Anzahl der Komplettaustausche: 1
- Kombinationsmöglichkeiten: 65

Eine Auswertung der Extremwerte des ökologischen Vergleichs befindet sich in Tabelle 4.55.

		GWP			PEB _{n.e.}		
		absolut [t]	relativ [%]	Parameter [m-S ₁ -KA]	absolut [MWh]	relativ [%]	Parameter [m-S ₁ -KA]
EPS	min. Einsparung	0,0	0,0	1-0-Ja	0,0	0,0	1-0-Ja
	max. Einsparung	62,3	26,7	10-10-Ja	250,4	14,2	10-10-Ja
MW	min. Einsparung	0,0	0,0	1-0-Ja	0,0	0,0	1-0-Ja
	max. Einsparung	163,4	30,4	10-10-Ja	492,3	19,8	10-10-Ja

Tabelle 4.55: Extremwerte im Fall D

Die komplette Auswertung befindet sich in Anhang Ö-D-EPS und Ö-D-MW.

4.6.4.6 Auswertung des baulichen Einsparungspotenzials im Fall E

Im Fall E gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 2
- Anzahl der Komplettaustausche: 0
- Kombinationsmöglichkeiten: 285

Eine Auswertung der Extremwerte des ökologischen Vergleichs befindet sich in Tabelle 4.56.

		GWP			PEB _{n.e.}		
		absolut [t]	relativ [%]	Parameter [m-S ₁ -S ₂ -KA]	absolut [MWh]	relativ [%]	Parameter [m-S ₁ -S ₂ -KA]
EPS	min. Einsparung	0,0	0,0	1-0-0-Nein	0,0	0,0	1-0-0-Nein
	max. Einsparung	123,4	54,3	10-10-10-Nein	473,5	29,0	10-10-10-Nein
MW	min. Einsparung	0,0	0,0	1-0-0-Nein	0,0	0,0	1-0-0-Nein
	max. Einsparung	325,5	61,4	10-10-10-Nein	957,3	40,6	10-10-10-Nein

Tabelle 4.56: Extremwerte im Fall E

Die komplette Auswertung befindet sich in Anhang Ö-E-EPS und Ö-E-MW.

4.6.4.7 Auswertung des baulichen Einsparungspotenzials im Fall F

Im Fall F gelten, neben den Modellgrenzen, folgende Randbedingungen:

- Anzahl der Sanierungen: 2
- Anzahl der Komplettaustausche: 1
- Kombinationsmöglichkeiten: 285

Eine Auswertung der Extremwerte des ökologischen Vergleichs befindet sich in Tabelle 4.57.

		GWP			PEB _{n.e.}		
		absolut [t]	relativ [%]	Parameter [m-S ₁ -S ₂ -KA]	absolut [MWh]	relativ [%]	Parameter [m-S ₁ -S ₂ -KA]
EPS	min. Einsparung	0,0	0,0	1-0-0-Ja	0,0	0,0	1-0-0-Ja
	max. Einsparung	123,8	40,3	10-10-10-Ja	482,6	21,3	10-10-10-Ja
MW	min. Einsparung	0,0	0,0	1-0-0-Ja	0,0	0,0	1-0-0-Ja
	max. Einsparung	325,9	45,8	10-10-10-Ja	966,4	29,9	10-10-10-Ja

Tabelle 4.57: Extremwerte im Fall F

Die komplette Auswertung befindet sich in Anhang Ö-F-EPS und Ö-F-MW.

5 Conclusio

Ein Monitoringsystem und im speziellen der Roof Protector kann das Flachdach vor schwerwiegenden Feuchteschäden bewahren. Umso wichtiger ist es daher, unter welchen Umständen der Roof Protector einen Beitrag zur Kosteneffizienz und zur Ökologie des Flachdachaufbaus leisten kann.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde versucht diese Problematik zu erfassen und Erkenntnisse über die möglichen Einflussfaktoren im Flachdachbau zu gewinnen. Dabei wurde deutlich, dass eine Vielzahl von Parametern die mögliche Nutzungsdauer, die Kosten sowie die Ökologie verschieden stark beeinflussen.

Ein wichtiges Thema ist die Bauabdichtung. Trotz der allgemein bekannten Regeln für das Abdichten eines Flachdachs, gilt Regen während der Bauphase als sehr häufige Ursache für Bauschäden. Obwohl diese Gefahr bekannt ist, wird ihr in manchen Fällen nicht die Bedeutung zugesprochen, die ihr gebührt. Der zuständige Unternehmer ist i. A. dazu verpflichtet, einen dichten und windgesicherten Witterungsschutz noch vor Beendigung der Arbeiten herzustellen. Bei fehlendem oder fehlerhaftem Witterungsschutzes drohen nicht unerhebliche Sanierungskosten und der mögliche Verlust von Folgeaufträgen. Hier kann der Roof Protector klare Aussagen treffen, wodurch die Unsicherheiten reduziert werden können.

Vor allem in der Nutzungsphase können elektronische Überwachungssysteme einen großen Unterschied darstellen. Wie die regelmäßigen Flachdachuntersuchungen stattzufinden haben und welche Methoden und Messwerte herangezogen werden sollen, ist in der Literatur häufig nicht genau erfasst. Fest steht, dass es ohne elektronische Hilfe äußerst schwer ist, sich einen befriedigenden Eindruck zu verschaffen. Genau dieser Umstand wird normativ in der ÖNORM B 3691 erfasst, wodurch derartige Systeme empfohlen werden. Als Negativbeispiel ist an dieser Stelle die DIN 18531 zu erwähnen. Dass diese DIN für die Beurteilung von Flachdächern nur veraltete und unzuverlässige Methoden kennt, ist zu kritisieren. Diese Art der Beurteilung von Dächern entspricht nicht den Methoden nach dem aktuellen Stand der Technik und den digitalen Bauweisen. Neben der Tatsache, dass eine jährliche Überprüfung zu selten ist und somit großes Schadenpotenzial mit sich bringt, sind Soll-Vorschriften suboptimal. Dachwartungsintervalle werden nicht immer gewissenhaft eingehalten und deswegen sollte auf striktere Formulierungen zurückgegriffen werden. Des Weiteren müssen nach Meinung des Autors Regelungen für elektronische Überwachungssysteme in die nächste Auflage miteinfließen.

Oft denken Eigentümer erst dann an ihr Dach, wenn es bereits undicht ist. Eine ordentliche Wartung wird oftmals vergessen, sie wird eingespart oder technisch unsauber ausgeführt. In Flachdächern können komplexe, physikalische Vorgänge ablaufen. Diese zweifelsfrei ohne Monitoringsysteme zu erkennen, zu erfassen, zu quantifizieren und zu bewerten, ist schwierig.

Gemäß der Forschungsfrage ist der potenzielle ökonomische Vorteil zu beurteilen. Die Wirtschaftlichkeit darf jedoch nicht kurzfristig betrachtet werden, sondern muss über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes gesehen werden. Dass nicht alle berechneten Kombinationen Vorteilhaft für den Einsatz von Monitoringsystemen ausfallen, zeigen die Ergebnisse deutlich. Ebenso zeigen sie den Fakt auf, dass wenn Monitoringsysteme eingesetzt werden, die mögliche Einsparung deutlich über den möglichen Verlusten zu liegen kommt.

Je länger die Nutzungsdauern von Gebäuden sind und je häufiger Sanierungen durchgeführt werden müssen, desto rentabler wird der Roof Protector. Wo kein Schatten ist, da ist kein Licht – Wo kein Schaden ist, ist kein Einsparungspotenzial. Die Wirtschaftlichkeit des Systems ist auf das Versagen der Bauteilschichten angewiesen.

Unter der Voraussetzung von bis zu 2500 m² Dachfläche, 30 cm Wärmedämmung und der Berücksichtigung der Modellgrenzen sind die folgenden Ergebnisse gültig. Werden bei einer Gebäudenutzungsdauer von 50 Jahren zwei Sanierungen notwendig, ist die Wirtschaftlichkeit dann gegeben, wenn je Sanierung zumindest ein Schott von zehn nass wird. Dies gilt auch bei einer Gebäudenutzungsdauer von 70 Jahren mit zwei Sanierungen und einem Komplettaustausch. Bei einer Gebäudenutzungsdauer von 50 bzw. 70 Jahren und einer Sanierung sowie einem Kompletwechsel müssen jeweils eines bzw. zwei Schotte von zehn durchnässt sein. Unter gewissen Umständen kann auch nur ein Kompletwechsel des Dachpakets wirtschaftlich sein. Sind zwei von 10 Schotten nass, reicht dies aus, um bei einer Gebäudenutzungsdauer von 50 Jahren und einer Sanierung einen ökonomischen Vorteil zu generieren. Auch die Entsorgung am Ende des Gebäudelebenszyklus von 30 Jahren (keine Sanierung, kein Kompletwechsel) kann, wenn zumindest 3 von 10 Schotte nass sind, wirtschaftlich sein.

Weiterführend könnte eine Risikoanalyse die Hilfsmittel beisteuern, um die berechneten Kombinationen mit Wahrscheinlichkeiten zu hinterlegen, wodurch die Ergebnisse näher an die Baupraxis herangeführt werden könnten.

Deswegen resultiert ein Kritikpunkt, der zu Lasten dieser Arbeit geht: Fehlende Daten zum tatsächlichen Schadensausmaß bei konventionell hergestellten Flachdächern. Daher können die Vergleiche rechnerisch zwar durchgeführt werden, eine endgültige und abschließende Bewertung, ob ein Monitoringsystem aber tatsächlich rentabel ist, kann nur unter der zu Hilfenahme von Kombinationsmöglichkeiten und einschränkenden Randbedingungen festgestellt werden. Weil die Kenntnis des tatsächlichen Schadensausmaßes unbekannt ist und von Fall zu Fall stark variiert, können auch die Kosten und Umweltauswirkungen von nasser Wärmedämmung nicht zuverlässig in den Vergleich inkludiert werden. Gleiches gilt ebenso für die Wartungskosten.

Aber auch wenn der wirtschaftliche Vorteil im Vergleich zu herkömmlichen Systemen grundsätzlich erst bei Eintreten eines Schadens zutage tritt, ist der Nutzen sofort von Beginn an vorhanden. Intelligente Monitoringsysteme vereinfachen die Abnahme, die Durchsetzung von Gewährleistungsansprüchen, Ansprüche gegenüber Versicherungen und vieles mehr.

Dass das Thema Nachhaltigkeit in den nächsten Jahren und Jahrzehnten immer wichtiger werden wird, ist unumstritten. Die CO₂-Bilanzen und Nachhaltigkeitszertifikate von Gebäuden gewinnen nicht nur für umweltbewusste Bauherren, sondern auch für die öffentlich-rechtlichen Vorgaben immer mehr an Bedeutung. Auch für Unternehmen in CO₂ ausstoßenden Geschäftsfeldern ist eine möglichst gute Klimabilanz und Nachhaltigkeit unerlässlich. Ebenso müssen auch die Preise für CO₂-Zertifikate, welche ab 2021 für deutsche Unternehmen relevant sind, im Hinterkopf behalten werden. Dies könnte für manche Unternehmer ein nicht unwesentlicher Kostenfaktor sein.

Ein anderer Kritikpunkt ist, dass keine ökologischen Daten zum System Roof Protector vorliegen. Daher kann nur das bauliche Einsparungspotenzial berechnet werden, welches stets positiv ist. Ein tatsächlicher Vergleich, bei welchem abgeschätzt werden kann, ob eine Variante wirklich ökologischer als die andere ist, kann nicht durchgeführt werden. Aus baulicher Sicht jedoch, können Roof Protectoren eine sinnvolle, ökologische Ergänzung zu sein. Um zukünftig den Vergleich auch aussagekräftig beurteilen zu können, müssen weiterführende ökologische Kennwerte erarbeitet werden.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

- [1] M. Balak et al.: *3. Österreichischer Bauschadensbericht*. Wien: Wirtschaftskammer Österreich, IBF und IFB, 2009.
- [2] Hubner, W., Institut für Flachdachbau und Bauwerksabdichtung: *Assistenzsysteme innerhalb der Gebäudehülle*. Holzbau quadriga, Ausgabe 06/2018, S. 20–24.
- [3] K. Sedlbauer et al.: *Flachdach Atlas*. Institut für internationale Architektur-Dokumentation, 1. Aufl., 2010.
- [4] A. Pech et al.: *Flachdach*. Wien: Springer, 2011.
- [5] C. Eder et al.: *Neubau und Instandsetzung von Flachdächern*. Forum Verlag, 2017.
- [6] ÖNORM B 3691:2019 05 01 - *Planung und Ausführung von Dachabdichtungen*.
- [7] D. Schidt et al.: *Flachdächer in Holzbauweise*. Holzbau Deutschland-Institut e.V., 2. Aufl., 2019.
- [8] ÖNORM B 8110-2:2020 01 01 - *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion, -konvektion und Kondensationsschutz*.
- [9] OIB-Richtlinie 6 - *Energieeinsparung und Wärmeschutz*. 2019.
- [10] C. Sprengard et al.: *Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe: Metastudie Wärmedämmstoffe - Produkte - Anwendungen - Innovationen*. Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München, 2012.
- [11] B. Nusser, Holzforschung Austria: *Flachdächer in Holzbauweise richtig ausgeführt*. Wiener Holzschutztag 2017, 2017.
- [12] M. Zöllner et al.: *Langzeitverhalten feuchter Dämmstoffe auf Flachdächern – Praxiserfahrungen und Wärmestrommessungen*. Aachen: Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V., 2018. Verfügbar unter: <<https://www.irbnet.de/daten/rswb/18059020267.pdf>>, Zugriff am: 31. Mai 2020.
- [14] W. Hubner: *Qualitätssicherungen bei Dachabdichtungen*. Forum Thema, 02/09.
- [18] dicht & grün: *Dächer mit Kunststoffabdichtungen*. Pullach i.l., 2018.
- [20] DIN 18531-4:2017 07 01 - *Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 4: Nicht genutzte und genutzte Dächer – Instandhaltung*.
- [22] A.-M. Bäck: *Monitoringsysteme von Abdichtungen*. Bachelorarbeit, FH Wels, 2019.
- [23] R. Oswald et al.: *Zustandsänderungen von Mineralwolle-Dämmstoffen in Warmdachaufbauten bei Flachdächern infolge Feuchteintritt : Abschlussbericht ; Forschungsinitiative Zukunft Bau F 2824*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2013.
- [24] A. Kropik: *Baukalkulation, Kostenrechnung und die ÖNORM B 2061*. Perchtoldsdorf: Eigenverlag, 2020.
- [25] ÖNORM H 5056-1:2019 01 15 - *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 1: Heiztechnikenergiebedarf*.
- [26] Energieberatung Salzburg: *Infoblatt Heizgradtage*. Salzburg, 2013.
- [27] ÖNORM B 8110-5:2019 03 15 - *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*.
- [28] ÖNORM B 8110-6-1:2019 01 15 - *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6-1: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*.
- [30] IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie: *OIB-Berechnungsleitfaden Version 2.0*. Wien, 2010.

- [36] J. Bachinger, B. Nusser: *Wo viel Licht ist, ist auch viel Schatten. Verschattungen und Rücktrocknung hölzerner Flachdächer – Teil 1: Eine Bestandsaufnahme*. Holzbau quadriga, Ausgabe 05/2017.
- [38] G. Goger et al.: *Studie: Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen*. Wien: Technische Universität Wien, 2017.
- [39] S. Krause, B. Pellens: *Betriebswirtschaftliche Implikationen der digitalen Transformation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018.
- [43] J. Nävy: *Facility Management: Grundlagen, Informationstechnologie, Systemimplementierung, Anwendungsbeispiele*. Berlin, Heidelberg: Springer, 5. Aufl., 2018.
- [44] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung Deutschland: *Nachhaltiges Bauen: Strategien - Methoden - Praxis*. 2010.
- [47] ÖNORM EN 1990:2013 03 15 - *Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung (konsolidierte Fassung)*.
- [49] BTE-Arbeitsgruppe: *Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte*. Essen: Bund Technischer Experten e.V., 2008.
- [52] ÖNORM B 2111:2007 05 01 - *Umrechnung veränderlicher Preise von Bauleistungen - Werkvertragsnorm*.
- [54] T. Arens et al.: *Mathematik*. Berlin: Springer Spektrum, 4. Aufl., 2018.

Internetquellen

- [13] *RPM Gebäudemonitoring GmbH*. Verfügbar unter: <<https://www.gebaeudemonitoring.at>>, Zugriff am: 18. Juni 2020.
- [15] Baunetz_Wissen: *Leckageortung: Messung mit der Wasserprobe*. Verfügbar unter: <<https://www.baunetzwissen.de/flachdach/fachwissen/schaeden-sanierung/leckageortung-messung-mit-der-wasserprobe-156317>>, Zugriff am: 18. Juni 2020.
- [16] HEYLO Deutschland: *Lecksuchfarbe*. Verfügbar unter: <<https://www.heylo.de/de/produkte/feuchtemesstechnik/lecksuchfarbe>>, Zugriff am: 5. November 2020.
- [17] sanier.de: *Schäden Flachdach Abdichtung*. Verfügbar unter: <<https://www.sanier.de/dach/dachsanierung-und-dachausbau/maengelbeseitigung/schaeden-flachdach-abdichtung>>, Zugriff am: 5. November 2020.
- [19] Kleine Zeitung: *Jedes Dach braucht eine gute Wartung*. Verfügbar unter: <<https://www.kleinezeitung.at/service/ratgeber/kaernten/bauratgeber/5200222/Jedes-Dach-braucht-eine-gute-Wartung>>, Zugriff am: 2. Juli 2020.
- [21] Dachdeckerinnung Düsseldorf: *Das Märchen vom bösen Flachdach - Traditionelle Dachart kämpft gegen den schlechten Ruf*. Verfügbar unter: <<http://dachdecker-innung-duesseldorf.de/das-maerchen-vom-bosen-flachdach/>>, Zugriff am: 23. Juli 2020.
- [29] Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort: *Inhalt eines Energieausweises*. Verfügbar unter: <https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/wohnen/1/Seite.210460.html>, Zugriff am: 13. Juli 2020.
- [31] Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus: *Österreichs integrierter nationaler Energie- und Klimaplan*. Verfügbar unter: <https://www.bmlrt.gv.at/umwelt/klimaschutz/klimapolitik_national/nationaler-energie-und-klimaplan.html>, Zugriff am: 1. September 2020.
- [32] Standard: *Die Schwachstellen des Emissionshandels*. Verfügbar unter: <<https://www.derstandard.at/story/2000107819183/die-schwachstellen-des-emissions-handels>>, Zugriff am: 17. September 2020.

- [33] Investing.com: *CO₂-Emissionsrechte Futures*. Verfügbar unter: <<https://de.investing.com/commodities/carbon-emissions-streaming-chart>>, Zugriff am: 2. Dezember 2020.
- [34] F. Schulz: *Kabinettsbeschluss: Ab Januar gilt ein CO₂-Preis von 25 Euro*. EURACTIV.de. Verfügbar unter: <<https://www.euractiv.de/section/energie-und-umwelt/news/kabinettsbeschluss-ab-januar-gilt-ein-co2-preis-von-25-euro/>>, Zugriff am: 17. September 2020.
- [35] C. Bürgmann: *Ökosoziale Steuerreform aufgeschoben*. Österreichischer Gewerkschaftsbund. Verfügbar unter: <https://www.oegb.at/cms/S06/S06_1.21.a/1342623754066/themen/klimakrise/oekosoziale-steuerreform-aufgeschoben>, Zugriff am: 17. September 2020.
- [37] Hum-ID GmbH: *Tief Elvira und der Starkregen*. Verfügbar unter: <<https://www.hum-id.com/themen/tief-elvira-und-ihr-starkregen-ist-das-flachdach-versichert/>>, Zugriff am: 17. Juli 2020.
- [40] H. Czycholl: *Das Flachdach hat seinen schlechten Ruf zu unrecht*. Die Welt. Verfügbar unter: <<https://www.welt.de/finanzen/immobilien/article144729935/Das-Flachdach-hat-seinen-schlechten-Ruf-zu-unrecht.html>>, Zugriff am: 23. Juli 2020.
- [41] R. Niederdrenk (pwc): *Auch die Bauwirtschaft kann sich der Digitalisierung nicht entziehen*. Verfügbar unter: <<https://www.pwc.de/de/industrielle-produktion/auch-die-bauwirtschaft-kann-sich-der-digitalisierung-nicht-entziehen.html>>, Zugriff am: 31. August 2020.
- [42] Solid Bau: *Nach Corona wird Österreich digitaler*. Verfügbar unter: <<https://solidbau.at/a/nach-corona-wird-oesterreich-digitaler>>, Zugriff am: 31. August 2020.
- [45] KIWI.KI GmbH: *Smart Building*. Verfügbar unter: <<https://kiwi.ki/lexikon/smart-building/>>, Zugriff am: 31. August 2020.
- [46] Infineon: *Smart Buildings: Gebäude der Zukunft*. Verfügbar unter: <<https://www.infineon.com/cms/de/discoveries/smart-buildings/>>, Zugriff am: 31. August 2020.
- [48] Duden: *Lebensdauer*. Verfügbar unter: <<https://www.duden.de/rechtschreibung/Lebensdauer>>, Zugriff am: 28. November 2020.
- [50] Gabler Wirtschaftslexikon, Prof. Dr. Ulrich Pape: *Endwert*. Verfügbar unter: <<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/endwert-53799>>, Zugriff am: 20. November 2020.
- [51] Statistik Austria: *Verbraucherpreisindex - VPI 96*. Verfügbar unter: <https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/preise/verbraucherpreisindex_vpi_hvpi/index.html>, Zugriff am: 18. November 2020.
- [53] WKO: *Preisumrechnung mit Baukostenveränderung des BMFW Arbeitskategorie: Bauwerksabdichter - Dächer (Schwarzdecker)*. Verfügbar unter: <<http://www.preisumrechnung.at>>, Zugriff am: 20. November 2020.
- [55] Deutsches Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat: *ÖKOBAUDAT*. Verfügbar unter: <<https://www.oekobaudat.de>>, Zugriff am: 1. September 2020.
- [56] IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH. Verfügbar unter: <<https://www.ibo.at>>, Zugriff am: 1. September 2020.
- [57] SwissClimate: *Wie viel ist eine Tonne CO₂?* Verfügbar unter: <https://www.oekoservice.ch/images/news/2016/Factsheet_Swiss_Climate_Wie_viel_ist_eine_Tonne_CO2.pdf>, Zugriff am: 2. Dezember 2020.
- [58] energiehoch3: *Megawatunde / MWH kurz erklärt*. Verfügbar unter: <<https://www.energiehoch3.de/lexikon/m/megawattstunde-mwh/>>, Zugriff am: 2. Dezember 2020.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Einteilung von Flachdächern nach deren Aufbau [4, S. 98]	18
Abbildung 2.2: Konventioneller Warmdachaufbau [6, S. 37]	19
Abbildung 2.3: Beispiele für Flachdachentlüfter (schwarz) [13].....	24
Abbildung 2.4: Wärmeleitwert häufig verwendeter Dämmstoffe in Abhängigkeit ihres Feuchtegehaltes [12, S. 77f].....	26
Abbildung 2.5: Erforderliche Dämmstoffdicke in Abhängigkeit von der Feuchte	27
Abbildung 2.6: Heizgradtage und Heizgrenzen [26, S. 1].....	33
Abbildung 2.7: Vergleich der zusätzlichen Kosten in Abhängigkeit des Heizsystems und der Wärmedämmung.....	35
Abbildung 2.8: Verlauf des Preises für eine Tonne CO ₂ in Euro [33]	37
Abbildung 3.1: Einbausituation des „Roof Protectors“ [13].....	40
Abbildung 3.2: Ergebnis des Monitorings bei einem verschatteten und nicht verschatteten Flachdach [13].....	45
Abbildung 3.3: Zu überprüfende Dachfläche im Schadensfall.....	46
Abbildung 3.4: Monitoring Packages [13]	48
Abbildung 3.5: Temporäre Nutzung des Roof Protectors beispielsweise für Sachverständige [13].....	49
Abbildung 4.1: Lebenszykluskosten eines Gebäude [44, S. 9].....	54
Abbildung 4.2: Klassifizierung der Nutzungsdauer von Gebäuden [47, Punkt 2.3, S. 22].....	55
Abbildung 4.3: Zuordnung der Nutzungskategorie [3, Punkt 5.4, S. 18].....	56
Abbildung 4.4: Angenommener Dachaufbau – Foliendach (keine Bekiesung).....	58
Abbildung 4.5: Verlauf der kumulierten, unverzinsten LCCR für die Beispielskombination (m=10; S ₁ = 3; S ₂ = 3; KA = 3; Fall F; EPS)	81
Abbildung 4.6: Endwertverlauf der kumulierten LCCR für die Beispielskombination (m=10; S ₁ = 3; S ₂ = 3; KA = 3; Fall F; EPS; i=3,33%)	82
Abbildung 4.7: Symbolbild des Verlaufes der LCCR des Falles A	83
Abbildung 4.8: Symbolbild des Verlaufes der LCCR des Falles B ₁	85
Abbildung 4.9: Symbolbild des Verlaufes der LCCR des Falles B ₂	87
Abbildung 4.10: Symbolbild des Verlaufes der LCCR des Falles C ₁	89
Abbildung 4.11: Symbolbild des Verlaufes der LCCR des Falles C ₂	91
Abbildung 4.12: Symbolbild des Verlaufes der LCCR des Falles D ₁	93
Abbildung 4.13: Symbolbild des Verlaufes der LCCR des Falles D ₂	95
Abbildung 4.14: Symbolbild des Verlaufes der LCCR des Falles E.....	97
Abbildung 4.15: Symbolbild des Verlaufes der LCCR des Falles F.....	99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Technische Daten des Roof Protectors [13].....	42
Tabelle 3.2: Vergleich der Wasserprobe mit modernen Monitoringsystemen.....	43
Tabelle 3.3: Legende zur Abbildung 3.2	45
Tabelle 4.1: Technische Lebensdauer der Bauteilschichten im Flachdach – Empfehlung der BTE-Arbeitsgruppe und statistische Auswertung von vorhandenen Literaturwerten [49, S. 2f].....	56
Tabelle 4.2: Konsequenzen einer Sanierung bzw. eines Komplettaustausches je Variante.....	60
Tabelle 4.3: Übersicht über die berechneten Fälle und deren Parameter	60
Tabelle 4.4: Zusammenhang von Schottanzahl und Schottlänge	61
Tabelle 4.5: Berechnung des Umrechnungsprozentsatzes für den Preisanteil Lohn [53].....	66
Tabelle 4.6: Ergebnis des Umrechnungsprozentsatzes für den Preisanteil Lohn [53].....	66
Tabelle 4.7: Berechnung des Umrechnungsprozentsatzes für den Preisanteil Sonstiges [53].....	67
Tabelle 4.8: Ergebnis des Umrechnungsprozentsatzes für den Preisanteil Sonstiges [53] ..	67
Tabelle 4.9: Errichtungskosten ohne Abschottung - Variante K, EPS	69
Tabelle 4.10: Errichtungskosten der Abschottung - Variante K.....	70
Tabelle 4.11: Errichtungskosten - Variante K, EPS und MW	70
Tabelle 4.12: Rückbaukosten ohne Abschottung - Variante K - EPS nass.....	71
Tabelle 4.13: Rückbaukosten ohne Abschottung - Variante K - MW nass	71
Tabelle 4.14: Rückbaukosten der Abschottung - Variante K.....	72
Tabelle 4.15: Rückbaukosten ohne diffusionshemmende Schicht - Variante K - EPS und MW nass	72
Tabelle 4.16: Neueinbaukosten - Variante K - EPS und MW	73
Tabelle 4.17: Sanierungskosten - Variante K - EPS und MW nass.....	73
Tabelle 4.18: Rückbaukosten der Abdichtung - Variante K - EPS und MW trocken	74
Tabelle 4.19: Neueinbaukosten der Abdichtung- Variante K - EPS und MW trocken.....	74
Tabelle 4.20: Sanierungskosten diffusionshemmende Schicht	75
Tabelle 4.21: Komplettaustauschkosten - Variante K - EPS und MW nass.....	75
Tabelle 4.22: Rückbaukosten ohne Abschottung - Variante K - EPS trocken	76
Tabelle 4.23: Rückbaukosten ohne Abschottung - Variante K - MW trocken	76
Tabelle 4.24: Rückbaukosten inkl. Abschottung - Variante K - EPS und MW trocken.....	76
Tabelle 4.25: Komplettaustauschkosten - Variante K - EPS und MW trocken.....	77
Tabelle 4.26: Zusammenfassung der Kosten pro Schott bzw. Feld	78
Tabelle 4.27: Maßgebende Zeitpunkte im Fall F.....	79
Tabelle 4.28: Maßgebende Zeitpunkte im Fall A	83
Tabelle 4.29: Extremwerte im Fall A.....	84
Tabelle 4.30: Maßgebende Zeitpunkte im Fall B ₁	85
Tabelle 4.31: Extremwerte im Fall B ₁	86
Tabelle 4.32: Maßgebende Zeitpunkte im Fall B ₂	87
Tabelle 4.33: Extremwerte im Fall B ₂	88
Tabelle 4.34: Maßgebende Zeitpunkte im Fall C ₁	89
Tabelle 4.35: Extremwerte im Fall C ₁	90
Tabelle 4.36: Maßgebende Zeitpunkte im Fall C ₂	91
Tabelle 4.37: Extremwerte im Fall C ₂	92

Tabelle 4.38: Maßgebende Zeitpunkte im Fall D ₁	93
Tabelle 4.39: Extremwerte im Fall D ₁	94
Tabelle 4.40: Maßgebende Zeitpunkte im Fall D ₂	95
Tabelle 4.41: Extremwerte im Fall D ₂	96
Tabelle 4.42: Maßgebende Zeitpunkte im Fall E	97
Tabelle 4.43: Extremwerte im Fall E.....	98
Tabelle 4.44: Maßgebende Zeitpunkte im Fall F.....	99
Tabelle 4.45: Extremwerte im Fall F	100
Tabelle 4.46: Übersicht der Fälle im ökologischen Vergleich	101
Tabelle 4.47: Berechnungsgrundlagen im ökologischen Vergleich [55]	102
Tabelle 4.48: Berechnung der Abschottungsflächen pro Schott.....	103
Tabelle 4.49: Umweltauswirkungen bei Verwendung der Abschottung pro Schott.....	103
Tabelle 4.50: Umweltauswirkungen im Lebenszyklus eines Schottes ohne Sanierung und ohne Komplettaustausch	104
Tabelle 4.51: Umweltauswirkungen bei auszutauschender Wärmedämmung eines Schottes	105
Tabelle 4.52: Extremwerte im Fall A.....	107
Tabelle 4.53: Extremwerte im Fall B.....	107
Tabelle 4.54: Extremwerte im Fall C.....	108
Tabelle 4.55: Extremwerte im Fall D.....	108
Tabelle 4.56: Extremwerte im Fall E.....	109
Tabelle 4.57: Extremwerte im Fall F	109

Anhang

Ökonomische Berechnungsergebnisse:

Anhang W-A-EPS.....	1
Anhang W-A-MW	2
Anhang W-B ₁ -EPS + MW	3
Anhang W-B ₂ -EPS	4
Anhang W-B ₂ -MW	5
Anhang W-C ₁ -EPS	6
Anhang W-C ₁ -MW	7
Anhang W-C ₂ -EPS	8
Anhang W-C ₂ -MW	10
Anhang W-D ₁ -EPS	11
Anhang W-D ₁ -MW	12
Anhang W-D ₂ -EPS	13
Anhang W-D ₂ -MW	14
Anhang W-E-EPS.....	15
Anhang W-E-MW	16
Anhang W-F-EPS.....	17
Anhang W-F-MW	19

Ökologische Berechnungsergebnisse:

Anhang Ö-A-EPS	20
Anhang Ö-A-MW	21
Anhang Ö-B-EPS	22
Anhang Ö-B-MW	24
Anhang Ö-C-EPS	26
Anhang Ö-C-MW	27
Anhang Ö-D-EPS	28
Anhang Ö-D-MW	30
Anhang Ö-E-EPS	32
Anhang Ö-E-MW	37
Anhang Ö-F-EPS	42
Anhang Ö-F-MW	47

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-A-EPS

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/ Entsorgung	Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
			unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	-3.190	-4.665	-8,2	-8,6	Nein	Nein
9	2	0	-5.936	-8.886	-7,6	-8,2	Nein	Nein
36	3	0	-8.682	-13.106	-7,4	-8,0	Nein	Nein
100	4	0	-10.984	-16.883	-7,0	-7,7	Nein	Nein
125	4	1	-1.234	9.158	-0,7	3,7	Nein	20,1
225	5	0	-13.730	-21.104	-7,0	-7,7	Nein	Nein
261	5	1	-3.980	4.937	-1,9	1,6	Nein	24,8
441	6	0	-16.032	-24.881	-6,8	-7,6	Nein	Nein
490	6	1	-6.282	1.160	-2,6	0,3	Nein	28,8
784	7	0	-18.778	-29.101	-6,8	-7,6	Nein	Nein
848	7	1	-9.028	-3.061	-3,2	-0,7	Nein	Nein
1296	8	0	-21.080	-32.878	-6,7	-7,5	Nein	Nein
1377	8	1	-11.330	-6.837	-3,5	-1,5	Nein	Nein
1458	8	2	-1.580	19.203	-0,5	3,9	Nein	19,8
2025	9	0	-23.826	-37.099	-6,7	-7,5	Nein	Nein
2125	9	1	-14.076	-11.058	-3,9	-2,1	Nein	Nein
2225	9	2	-4.326	14.983	-1,2	2,7	Nein	22,1
3025	10	0	-26.572	-41.320	-6,8	-7,5	Nein	Nein
3146	10	1	-16.822	-15.279	-4,2	-2,7	Nein	Nein
3267	10	2	-7.072	10.762	-1,7	1,8	Nein	24,4

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-A-MW

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/ Entsorgung	Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
			unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	-3.190	-4.665	-5,8	-5,0	Nein	Nein
9	2	0	-5.936	-8.886	-5,4	-4,8	Nein	Nein
36	3	0	-8.682	-13.106	-5,2	-4,7	Nein	Nein
100	4	0	-10.984	-16.883	-4,9	-4,5	Nein	Nein
225	5	0	-13.730	-21.104	-4,9	-4,5	Nein	Nein
441	6	0	-16.032	-24.881	-4,8	-4,4	Nein	Nein
490	6	1	-1.782	13.179	-0,5	2,2	Nein	20,4
784	7	0	-18.778	-29.101	-4,8	-4,5	Nein	Nein
848	7	1	-4.528	8.958	-1,1	1,3	Nein	23,5
1296	8	0	-21.080	-32.878	-4,7	-4,4	Nein	Nein
1377	8	1	-6.830	5.181	-1,5	0,7	Nein	26,3
2025	9	0	-23.826	-37.099	-4,8	-4,4	Nein	Nein
2125	9	1	-9.576	961	-1,9	0,1	Nein	29,3
3025	10	0	-26.572	-41.320	-4,8	-4,4	Nein	Nein
3146	10	1	-12.322	-3.260	-2,2	-0,3	Nein	Nein

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-B₁-EPS + MW

unwirtschaftl. Kombination Nr. [l]	m [l]	Schotte durchnässt [l] S ₁	Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
			unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	-3.270	-4.819	-6,2	-6,0	Nein	Nein
9	2	0	-6.011	-8.965	-5,7	-5,5	Nein	Nein
36	3	0	-8.751	-13.112	-5,5	-5,4	Nein	Nein
100	4	0	-10.963	-16.587	-5,2	-5,1	Nein	Nein
225	5	0	-13.703	-20.733	-5,2	-5,1	Nein	Nein
441	6	0	-15.914	-24.208	-5,0	-5,0	Nein	Nein
784	7	0	-18.655	-28.355	-5,0	-5,0	Nein	Nein
1296	8	0	-20.866	-31.829	-4,9	-4,9	Nein	Nein
2025	9	0	-23.607	-35.976	-4,9	-4,9	Nein	Nein
3025	10	0	-26.348	-40.123	-5,0	-4,9	Nein	Nein

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-B₂-EPS

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/ S ₁	Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
			unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	-4.730	-10.299	-9,0	-9,1	Nein	Nein
9	2	0	-8.931	-19.714	-8,5	-8,6	Nein	Nein
36	3	0	-13.131	-29.130	-8,3	-8,5	Nein	Nein
100	4	0	-16.803	-37.662	-7,9	-8,2	Nein	Nein
225	5	0	-21.003	-47.078	-7,9	-8,2	Nein	Nein
441	6	0	-24.674	-55.610	-7,7	-8,1	Nein	Nein
784	7	0	-28.875	-65.025	-7,8	-8,1	Nein	Nein
1296	8	0	-32.546	-73.558	-7,6	-8,0	Nein	Nein
1377	8	1	-3.485	4.087	-0,8	0,4	Nein	47,6
2025	9	0	-36.747	-82.973	-7,7	-8,0	Nein	Nein
2125	9	1	-7.700	-5.367	-1,5	-0,5	Nein	Nein
3025	10	0	-40.948	-92.389	-7,7	-8,1	Nein	Nein
3146	10	1	-11.912	-14.814	-2,1	-1,2	Nein	Nein

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-B₂-MW

unwirtschaftl. Kombination Nr. [<i>l</i>]	m [<i>l</i>]	Schotte durchnässt [<i>l</i>] S ₁	Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
			unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	-4.730	-10.299	-6,9	-5,6	Nein	Nein
9	2	0	-8.931	-19.714	-6,5	-5,3	Nein	Nein
36	3	0	-13.131	-29.130	-6,3	-5,2	Nein	Nein
100	4	0	-16.803	-37.662	-6,1	-5,1	Nein	Nein
225	5	0	-21.003	-47.078	-6,1	-5,1	Nein	Nein
441	6	0	-24.674	-55.610	-5,9	-5,0	Nein	Nein
784	7	0	-28.875	-65.025	-5,9	-5,0	Nein	Nein
1296	8	0	-32.546	-73.558	-5,9	-4,9	Nein	Nein
2025	9	0	-36.747	-82.973	-5,9	-5,0	Nein	Nein
3025	10	0	-40.948	-92.389	-5,9	-5,0	Nein	Nein

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-C₁-EPS

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/] KA	Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
			unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	-4.730	-10.337	-6,1	-5,2	Nein	Nein
9	2	0	-8.401	-18.124	-5,4	-4,5	Nein	Nein
36	3	0	-12.073	-25.912	-5,1	-4,3	Nein	Nein
37	3	1	-2.323	4.773	-1,0	0,8	Nein	43,2
100	4	0	-14.685	-31.150	-4,7	-3,9	Nein	Nein
101	4	1	-4.935	-465	-1,5	-0,1	Nein	Nein
225	5	0	-18.356	-38.938	-4,7	-3,9	Nein	Nein
226	5	1	-8.606	-8.252	-2,1	-0,8	Nein	Nein
441	6	0	-20.969	-44.176	-4,4	-3,7	Nein	Nein
442	6	1	-11.219	-13.491	-2,3	-1,1	Nein	Nein
443	6	2	-1.469	17.195	-0,3	1,4	Nein	38,9
784	7	0	-24.640	-51.963	-4,5	-3,7	Nein	Nein
785	7	1	-14.890	-21.278	-2,7	-1,5	Nein	Nein
786	7	2	-5.140	9.407	-0,9	0,6	Nein	44,1
1296	8	0	-27.253	-57.202	-4,3	-3,5	Nein	Nein
1297	8	1	-17.503	-26.516	-2,7	-1,6	Nein	Nein
1298	8	2	-7.753	4.169	-1,2	0,2	Nein	47,5
2025	9	0	-30.924	-64.989	-4,4	-3,6	Nein	Nein
2026	9	1	-21.174	-34.304	-2,9	-1,9	Nein	Nein
2027	9	2	-11.424	-3.619	-1,6	-0,2	Nein	Nein
2028	9	3	-1.674	27.066	-0,2	1,4	Nein	38,5
3025	10	0	-34.595	-72.777	-4,4	-3,6	Nein	Nein
3026	10	1	-24.845	-42.092	-3,1	-2,1	Nein	Nein
3027	10	2	-15.095	-11.406	-1,9	-0,5	Nein	Nein
3028	10	3	-5.345	19.279	-0,7	0,9	Nein	42,0

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-C₁-MW

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/] KA	Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
			unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	-4.730	-10.337	-4,3	-3,2	Nein	Nein
9	2	0	-8.401	-18.124	-3,8	-2,8	Nein	Nein
36	3	0	-12.073	-25.912	-3,6	-2,7	Nein	Nein
100	4	0	-14.685	-31.150	-3,3	-2,4	Nein	Nein
101	4	1	-435	13.698	-0,1	1,0	Nein	37,3
225	5	0	-18.356	-38.938	-3,3	-2,4	Nein	Nein
226	5	1	-4.106	5.910	-0,7	0,4	Nein	44,8
441	6	0	-20.969	-44.176	-3,1	-2,3	Nein	Nein
442	6	1	-6.719	672	-1,0	0,0	Nein	49,5
784	7	0	-24.640	-51.963	-3,2	-2,3	Nein	Nein
785	7	1	-10.390	-7.116	-1,3	-0,3	Nein	Nein
1296	8	0	-27.253	-57.202	-3,1	-2,2	Nein	Nein
1297	8	1	-13.003	-12.354	-1,4	-0,5	Nein	Nein
2025	9	0	-30.924	-64.989	-3,1	-2,2	Nein	Nein
2026	9	1	-16.674	-20.142	-1,6	-0,7	Nein	Nein
2027	9	2	-2.424	24.706	-0,2	0,8	Nein	39,3
3025	10	0	-34.595	-72.777	-3,1	-2,2	Nein	Nein
3026	10	1	-20.345	-27.929	-1,8	-0,9	Nein	Nein
3027	10	2	-6.095	16.919	-0,5	0,5	Nein	42,8

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-C₂-EPS

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
		E	KA	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	0	-6.190	-20.773	-8,0	-8,6	Nein	Nein
9	2	0	0	-11.407	-39.436	-7,3	-8,1	Nein	Nein
10	2	0	1	-1.657	-8.751	-1,0	-1,7	Nein	Nein
18	2	1	0	-1.657	57.105	-1,0	9,8	Nein	29,3
36	3	0	0	-16.623	-58.099	-7,1	-7,9	Nein	Nein
37	3	0	1	-6.873	-27.414	-2,8	-3,6	Nein	Nein
52	3	1	0	-6.873	38.442	-2,8	4,6	Nein	43,1
100	4	0	0	-20.867	-74.652	-6,6	-7,6	Nein	Nein
101	4	0	1	-11.117	-43.967	-3,4	-4,4	Nein	Nein
102	4	0	2	-1.367	-13.282	-0,4	-1,3	Nein	Nein
125	4	1	0	-11.117	21.889	-3,4	2,0	Nein	55,3
126	4	1	1	-1.367	52.574	-0,4	4,8	Nein	42,7
150	4	2	0	-1.367	118.430	-0,4	10,1	Nein	28,7
225	5	0	0	-26.083	-93.315	-6,6	-7,6	Nein	Nein
226	5	0	1	-16.333	-62.630	-4,1	-5,0	Nein	Nein
227	5	0	2	-6.583	-31.945	-1,6	-2,5	Nein	Nein
228	5	0	3	3.167	-1.259	0,8	-0,1	63,4	Nein
261	5	1	0	-16.333	3.226	-4,1	0,2	Nein	67,9
262	5	1	1	-6.583	33.911	-1,6	2,5	Nein	52,6
297	5	2	0	-6.583	99.767	-1,6	7,0	Nein	35,5
441	6	0	0	-30.327	-109.868	-6,4	-7,5	Nein	Nein
442	6	0	1	-20.577	-79.183	-4,3	-5,3	Nein	Nein
443	6	0	2	-10.827	-48.498	-2,2	-3,2	Nein	Nein
444	6	0	3	-1.077	-17.812	-0,2	-1,1	Nein	Nein
490	6	1	0	-20.577	-13.327	-4,3	-0,8	Nein	Nein
491	6	1	1	-10.827	17.358	-2,2	1,1	Nein	61,4
492	6	1	2	-1.077	48.044	-0,2	2,9	Nein	50,4
539	6	2	0	-10.827	83.214	-2,2	5,0	Nein	41,8
540	6	2	1	-1.077	113.899	-0,2	6,7	Nein	36,4
588	6	3	0	-1.077	179.755	-0,2	10,2	Nein	28,5
784	7	0	0	-35.543	-128.531	-6,5	-7,5	Nein	Nein
785	7	0	1	-25.793	-97.846	-4,6	-5,6	Nein	Nein
786	7	0	2	-16.043	-67.161	-2,8	-3,8	Nein	Nein
787	7	0	3	-6.293	-36.475	-1,1	-2,0	Nein	Nein
788	7	0	4	3.457	-5.790	0,6	-0,3	64,8	Nein
848	7	1	0	-25.793	-31.990	-4,6	-1,8	Nein	Nein
849	7	1	1	-16.043	-1.305	-2,8	-0,1	Nein	Nein
850	7	1	2	-6.293	29.380	-1,1	1,6	Nein	58,1
912	7	2	0	-16.043	64.551	-2,8	3,4	Nein	48,3
913	7	2	1	-6.293	95.236	-1,1	4,9	Nein	42,1
976	7	3	0	-6.293	161.092	-1,1	8,0	Nein	33,0
1296	8	0	0	-39.787	-145.084	-6,3	-7,4	Nein	Nein
1297	8	0	1	-30.037	-114.399	-4,7	-5,7	Nein	Nein
1298	8	0	2	-20.287	-83.714	-3,1	-4,1	Nein	Nein
1299	8	0	3	-10.537	-53.028	-1,6	-2,6	Nein	Nein
1300	8	0	4	-787	-22.343	-0,1	-1,1	Nein	Nein
1377	8	1	0	-30.037	-48.543	-4,7	-2,4	Nein	Nein
1378	8	1	1	-20.287	-17.858	-3,1	-0,9	Nein	Nein
1379	8	1	2	-10.537	12.827	-1,6	0,6	Nein	64,9
1380	8	1	3	-787	43.513	-0,1	2,0	Nein	55,3
1458	8	2	0	-20.287	47.998	-3,1	2,2	Nein	54,2
1459	8	2	1	-10.537	78.683	-1,6	3,6	Nein	47,3
1460	8	2	2	-787	109.369	-0,1	4,9	Nein	42,0
1539	8	3	0	-10.537	144.539	-1,6	6,4	Nein	37,2
1540	8	3	1	-787	175.224	-0,1	7,7	Nein	33,9
1620	8	4	0	-787	241.080	-0,1	10,3	Nein	28,4
2025	9	0	0	-45.003	-163.747	-6,4	-7,4	Nein	Nein
2026	9	0	1	-35.253	-133.062	-4,9	-5,9	Nein	Nein
2027	9	0	2	-25.503	-102.377	-3,5	-4,5	Nein	Nein
2028	9	0	3	-15.753	-71.691	-2,1	-3,1	Nein	Nein
2029	9	0	4	-6.003	-41.006	-0,8	-1,8	Nein	Nein

Anhang W-C₂-EPS

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
		E	KA	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
2030	9	0	5	3.747	-10.321	0,5	-0,4	65,5	Nein
2125	9	1	0	-35.253	-67.206	-4,9	-2,9	Nein	Nein
2126	9	1	1	-25.503	-36.521	-3,5	-1,6	Nein	Nein
2127	9	1	2	-15.753	-5.836	-2,1	-0,2	Nein	Nein
2128	9	1	3	-6.003	24.850	-0,8	1,0	Nein	61,7
2225	9	2	0	-25.503	29.335	-3,5	1,2	Nein	60,4
2226	9	2	1	-15.753	60.020	-2,1	2,5	Nein	52,8
2227	9	2	2	-6.003	90.706	-0,8	3,7	Nein	46,9
2325	9	3	0	-15.753	125.876	-2,1	5,0	Nein	41,6
2326	9	3	1	-6.003	156.561	-0,8	6,2	Nein	37,9
2425	9	4	0	-6.003	222.417	-0,8	8,6	Nein	31,8
3025	10	0	0	-50.220	-182.410	-6,4	-7,4	Nein	Nein
3026	10	0	1	-40.470	-151.725	-5,1	-6,1	Nein	Nein
3027	10	0	2	-30.720	-121.040	-3,8	-4,8	Nein	Nein
3028	10	0	3	-20.970	-90.354	-2,6	-3,5	Nein	Nein
3029	10	0	4	-11.220	-59.669	-1,4	-2,3	Nein	Nein
3030	10	0	5	-1.470	-28.984	-0,2	-1,1	Nein	Nein
3146	10	1	0	-40.470	-85.869	-5,1	-3,4	Nein	Nein
3147	10	1	1	-30.720	-55.184	-3,8	-2,1	Nein	Nein
3148	10	1	2	-20.970	-24.499	-2,6	-0,9	Nein	Nein
3149	10	1	3	-11.220	6.187	-1,4	0,2	Nein	68,0
3150	10	1	4	-1.470	36.872	-0,2	1,4	Nein	59,3
3267	10	2	0	-30.720	10.672	-3,8	0,4	Nein	66,5
3268	10	2	1	-20.970	41.357	-2,6	1,5	Nein	58,3
3269	10	2	2	-11.220	72.043	-1,4	2,7	Nein	51,8
3270	10	2	3	-1.470	102.728	-0,2	3,8	Nein	46,6
3388	10	3	0	-20.970	107.213	-2,6	3,9	Nein	46,0
3389	10	3	1	-11.220	137.898	-1,4	5,0	Nein	41,9
3390	10	3	2	-1.470	168.584	-0,2	6,0	Nein	38,4
3509	10	4	0	-11.220	203.754	-1,4	7,2	Nein	35,1
3510	10	4	1	-1.470	234.440	-0,2	8,2	Nein	32,7
3630	10	5	0	-1.470	300.295	-0,2	10,2	Nein	28,4

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-C₂-MW

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
		E	KA	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	0	-6.190	-20.773	-5,6	-4,9	Nein	Nein
9	2	0	0	-11.407	-39.436	-5,2	-4,6	Nein	Nein
36	3	0	0	-16.623	-58.099	-5,0	-4,5	Nein	Nein
37	3	0	1	-2.373	-13.251	-0,7	-1,0	Nein	Nein
52	3	1	0	-2.373	83.000	-0,7	5,8	Nein	29,8
100	4	0	0	-20.867	-74.652	-4,7	-4,3	Nein	Nein
101	4	0	1	-6.617	-29.804	-1,4	-1,7	Nein	Nein
125	4	1	0	-6.617	66.446	-1,4	3,6	Nein	38,7
225	5	0	0	-26.083	-93.315	-4,7	-4,3	Nein	Nein
226	5	0	1	-11.833	-48.467	-2,1	-2,2	Nein	Nein
227	5	0	2	2.417	-3.620	0,4	-0,2	64,9	Nein
261	5	1	0	-11.833	47.783	-2,1	2,1	Nein	47,8
441	6	0	0	-30.327	-109.868	-4,5	-4,2	Nein	Nein
442	6	0	1	-16.077	-65.020	-2,4	-2,5	Nein	Nein
443	6	0	2	-1.827	-20.173	-0,3	-0,8	Nein	Nein
490	6	1	0	-16.077	31.230	-2,4	1,1	Nein	55,8
491	6	1	1	-1.827	76.078	-0,3	2,7	Nein	43,3
539	6	2	0	-1.827	172.329	-0,3	6,0	Nein	29,2
784	7	0	0	-35.543	-128.531	-4,6	-4,3	Nein	Nein
785	7	0	1	-21.293	-83.683	-2,7	-2,7	Nein	Nein
786	7	0	2	-7.043	-38.836	-0,9	-1,3	Nein	Nein
848	7	1	0	-21.293	12.567	-2,7	0,4	Nein	64,4
849	7	1	1	-7.043	57.415	-0,9	1,8	Nein	50,0
912	7	2	0	-7.043	153.666	-0,9	4,7	Nein	33,8
1296	8	0	0	-39.787	-145.084	-4,5	-4,2	Nein	Nein
1297	8	0	1	-25.537	-100.236	-2,8	-2,9	Nein	Nein
1298	8	0	2	-11.287	-55.389	-1,2	-1,6	Nein	Nein
1299	8	0	3	2.963	-10.541	0,3	-0,3	66,0	Nein
1377	8	1	0	-25.537	-3.986	-2,8	-0,1	Nein	Nein
1378	8	1	1	-11.287	40.862	-1,2	1,1	Nein	56,0
1458	8	2	0	-11.287	137.113	-1,2	3,7	Nein	38,1
2025	9	0	0	-45.003	-163.747	-4,5	-4,2	Nein	Nein
2026	9	0	1	-30.753	-118.900	-3,0	-3,0	Nein	Nein
2027	9	0	2	-16.503	-74.052	-1,6	-1,9	Nein	Nein
2028	9	0	3	-2.253	-29.204	-0,2	-0,7	Nein	Nein
2125	9	1	0	-30.753	-22.649	-3,0	-0,6	Nein	Nein
2126	9	1	1	-16.503	22.199	-1,6	0,5	Nein	62,5
2127	9	1	2	-2.253	67.047	-0,2	1,6	Nein	51,4
2225	9	2	0	-16.503	118.450	-1,6	2,8	Nein	42,6
2226	9	2	1	-2.253	163.298	-0,2	3,9	Nein	37,2
2325	9	3	0	-2.253	259.549	-0,2	6,0	Nein	29,1
3025	10	0	0	-50.220	-182.410	-4,5	-4,2	Nein	Nein
3026	10	0	1	-35.970	-137.563	-3,2	-3,2	Nein	Nein
3027	10	0	2	-21.720	-92.715	-1,9	-2,1	Nein	Nein
3028	10	0	3	-7.470	-47.867	-0,6	-1,1	Nein	Nein
3029	10	0	4	6.780	-3.020	0,6	-0,1	63,0	Nein
3146	10	1	0	-35.970	-41.312	-3,2	-0,9	Nein	Nein
3147	10	1	1	-21.720	3.536	-1,9	0,1	Nein	68,8
3148	10	1	2	-7.470	48.384	-0,6	1,1	Nein	56,6
3267	10	2	0	-21.720	99.787	-1,9	2,2	Nein	47,1
3268	10	2	1	-7.470	144.635	-0,6	3,1	Nein	41,1
3388	10	3	0	-7.470	240.886	-0,6	5,1	Nein	32,2

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-D₁-EPS

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
		S ₁	KA	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	0	-4.810	-10.536	-5,3	-4,3	Nein	Nein
9	2	0	0	-8.561	-18.225	-4,7	-3,7	Nein	Nein
36	3	0	0	-12.313	-25.915	-4,5	-3,5	Nein	Nein
37	3	0	1	-2.563	10.231	-0,9	1,3	Nein	37,4
100	4	0	0	-15.005	-30.759	-4,1	-3,1	Nein	Nein
101	4	0	1	-5.255	5.387	-1,4	0,5	Nein	44,1
225	5	0	0	-18.756	-38.449	-4,1	-3,1	Nein	Nein
226	5	0	1	-9.006	-2.303	-1,9	-0,2	Nein	Nein
441	6	0	0	-21.449	-43.294	-3,9	-2,9	Nein	Nein
442	6	0	1	-11.699	-7.147	-2,1	-0,5	Nein	Nein
443	6	0	2	-1.949	28.999	-0,3	1,8	Nein	33,8
784	7	0	0	-25.200	-50.983	-3,9	-2,9	Nein	Nein
785	7	0	1	-15.450	-14.837	-2,4	-0,8	Nein	Nein
786	7	0	2	-5.700	21.309	-0,9	1,2	Nein	38,4
1296	8	0	0	-27.893	-55.828	-3,8	-2,8	Nein	Nein
1297	8	0	1	-18.143	-19.681	-2,4	-1,0	Nein	Nein
1298	8	0	2	-8.393	16.465	-1,1	0,8	Nein	41,5
2025	9	0	0	-31.644	-63.517	-3,8	-2,8	Nein	Nein
2026	9	0	1	-21.894	-27.371	-2,6	-1,2	Nein	Nein
2027	9	0	2	-12.144	8.775	-1,4	0,4	Nein	45,6
2028	9	0	3	-2.394	44.921	-0,3	1,9	Nein	33,4
2125	9	1	0	-2.597	-7.589	-0,3	-0,3	Nein	Nein
3025	10	0	0	-35.395	-71.207	-3,8	-2,8	Nein	Nein
3026	10	0	1	-25.645	-35.061	-2,7	-1,4	Nein	Nein
3027	10	0	2	-15.895	1.085	-1,7	0,0	Nein	49,5
3028	10	0	3	-6.145	37.231	-0,6	1,4	Nein	36,5
3146	10	1	0	-6.360	-15.302	-0,7	-0,6	Nein	Nein

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-D₁-MW

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
		S ₁	KA	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	0	-4.810	-10.536	-3,9	-2,8	Nein	Nein
9	2	0	0	-8.561	-18.225	-3,4	-2,4	Nein	Nein
36	3	0	0	-12.313	-25.915	-3,3	-2,3	Nein	Nein
100	4	0	0	-15.005	-30.759	-3,0	-2,0	Nein	Nein
101	4	0	1	-755	22.069	-0,1	1,4	Nein	32,3
225	5	0	0	-18.756	-38.449	-3,0	-2,0	Nein	Nein
226	5	0	1	-4.506	14.380	-0,7	0,7	Nein	38,9
441	6	0	0	-21.449	-43.294	-2,9	-1,9	Nein	Nein
442	6	0	1	-7.199	9.535	-0,9	0,4	Nein	43,2
784	7	0	0	-25.200	-50.983	-2,9	-1,9	Nein	Nein
785	7	0	1	-10.950	1.846	-1,2	0,1	Nein	48,7
1296	8	0	0	-27.893	-55.828	-2,8	-1,8	Nein	Nein
1297	8	0	1	-13.643	-2.999	-1,3	-0,1	Nein	Nein
2025	9	0	0	-31.644	-63.517	-2,8	-1,8	Nein	Nein
2026	9	0	1	-17.394	-10.688	-1,5	-0,3	Nein	Nein
2027	9	0	2	-3.144	42.140	-0,3	1,2	Nein	34,1
3025	10	0	0	-35.395	-71.207	-2,8	-1,9	Nein	Nein
3026	10	0	1	-21.145	-18.378	-1,7	-0,5	Nein	Nein
3027	10	0	2	-6.895	34.451	-0,5	0,9	Nein	37,3

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-D₂-EPS

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
		S ₁	KA	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	0	-6.270	-21.147	-6,9	-5,9	Nein	Nein
9	2	0	0	-11.481	-38.280	-6,3	-5,3	Nein	Nein
10	2	0	1	-1.731	11.876	-0,9	1,5	Nein	54,3
36	3	0	0	-16.693	-55.414	-6,0	-5,1	Nein	Nein
37	3	0	1	-6.943	-5.257	-2,4	-0,5	Nein	Nein
100	4	0	0	-20.845	-68.535	-5,6	-4,8	Nein	Nein
101	4	0	1	-11.095	-18.378	-2,9	-1,2	Nein	Nein
102	4	0	2	-1.345	31.778	-0,3	2,1	Nein	50,5
225	5	0	0	-26.056	-85.668	-5,6	-4,8	Nein	Nein
226	5	0	1	-16.306	-35.512	-3,5	-1,9	Nein	Nein
227	5	0	2	-6.556	14.644	-1,4	0,8	Nein	61,3
261	5	1	0	2.873	-8.377	0,6	-0,4	64,0	Nein
441	6	0	0	-30.209	-98.789	-5,4	-4,6	Nein	Nein
442	6	0	1	-20.459	-48.633	-3,6	-2,2	Nein	Nein
443	6	0	2	-10.709	1.524	-1,9	0,1	Nein	69,1
444	6	0	3	-959	51.680	-0,2	2,2	Nein	49,3
490	6	1	0	-1.191	-21.262	-0,2	-0,9	Nein	Nein
784	7	0	0	-35.420	-115.923	-5,5	-4,6	Nein	Nein
785	7	0	1	-25.670	-65.766	-3,9	-2,6	Nein	Nein
786	7	0	2	-15.920	-15.610	-2,4	-0,6	Nein	Nein
787	7	0	3	-6.170	34.546	-0,9	1,3	Nein	56,4
848	7	1	0	-6.415	-38.429	-0,9	-1,5	Nein	Nein
1296	8	0	0	-39.573	-129.044	-5,3	-4,5	Nein	Nein
1297	8	0	1	-29.823	-78.887	-4,0	-2,7	Nein	Nein
1298	8	0	2	-20.073	-28.731	-2,6	-1,0	Nein	Nein
1299	8	0	3	-10.323	21.426	-1,3	0,7	Nein	61,9
1300	8	0	4	-573	71.582	-0,1	2,3	Nein	48,7
1377	8	1	0	-10.511	-51.399	-1,4	-1,7	Nein	Nein
1378	8	1	1	-761	-1.242	-0,1	0,0	Nein	Nein
2025	9	0	0	-44.784	-146.177	-5,4	-4,5	Nein	Nein
2026	9	0	1	-35.034	-96.021	-4,2	-2,9	Nein	Nein
2027	9	0	2	-25.284	-45.865	-3,0	-1,4	Nein	Nein
2028	9	0	3	-15.534	4.292	-1,8	0,1	Nein	68,4
2029	9	0	4	-5.784	54.448	-0,7	1,6	Nein	54,1
2125	9	1	0	-15.737	-68.571	-1,8	-2,1	Nein	Nein
2126	9	1	1	-5.987	-18.415	-0,7	-0,5	Nein	Nein
3025	10	0	0	-49.995	-163.311	-5,4	-4,5	Nein	Nein
3026	10	0	1	-40.245	-113.155	-4,3	-3,1	Nein	Nein
3027	10	0	2	-30.495	-62.998	-3,2	-1,7	Nein	Nein
3028	10	0	3	-20.745	-12.842	-2,2	-0,3	Nein	Nein
3029	10	0	4	-10.995	37.315	-1,1	1,0	Nein	59,2
3030	10	0	5	-1.245	87.471	-0,1	2,3	Nein	49,1
3146	10	1	0	-20.960	-85.737	-2,2	-2,3	Nein	Nein
3147	10	1	1	-11.210	-35.580	-1,2	-1,0	Nein	Nein
3148	10	1	2	-1.460	14.576	-0,1	0,4	Nein	65,4
3267	10	2	0	8.075	-8.162	0,8	-0,2	61,8	Nein

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-D₂-MW

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
		S ₁	KA	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	0	-6.270	-21.147	-6,9	-5,9	Nein	Nein
9	2	0	0	-11.481	-38.280	-6,3	-5,3	Nein	Nein
10	2	0	1	-1.731	11.876	-0,9	1,5	Nein	54,3
36	3	0	0	-16.693	-55.414	-6,0	-5,1	Nein	Nein
37	3	0	1	-6.943	-5.257	-2,4	-0,5	Nein	Nein
100	4	0	0	-20.845	-68.535	-5,6	-4,8	Nein	Nein
101	4	0	1	-11.095	-18.378	-2,9	-1,2	Nein	Nein
102	4	0	2	-1.345	31.778	-0,3	2,1	Nein	50,5
225	5	0	0	-26.056	-85.668	-5,6	-4,8	Nein	Nein
226	5	0	1	-16.306	-35.512	-3,5	-1,9	Nein	Nein
227	5	0	2	-6.556	14.644	-1,4	0,8	Nein	61,3
261	5	1	0	2.873	-8.377	0,6	-0,4	64,0	Nein
441	6	0	0	-30.209	-98.789	-5,4	-4,6	Nein	Nein
442	6	0	1	-20.459	-48.633	-3,6	-2,2	Nein	Nein
443	6	0	2	-10.709	1.524	-1,9	0,1	Nein	69,1
444	6	0	3	-959	51.680	-0,2	2,2	Nein	49,3
490	6	1	0	-1.191	-21.262	-0,2	-0,9	Nein	Nein
784	7	0	0	-35.420	-115.923	-5,5	-4,6	Nein	Nein
785	7	0	1	-25.670	-65.766	-3,9	-2,6	Nein	Nein
786	7	0	2	-15.920	-15.610	-2,4	-0,6	Nein	Nein
787	7	0	3	-6.170	34.546	-0,9	1,3	Nein	56,4
848	7	1	0	-6.415	-38.429	-0,9	-1,5	Nein	Nein
1296	8	0	0	-39.573	-129.044	-5,3	-4,5	Nein	Nein
1297	8	0	1	-29.823	-78.887	-4,0	-2,7	Nein	Nein
1298	8	0	2	-20.073	-28.731	-2,6	-1,0	Nein	Nein
1299	8	0	3	-10.323	21.426	-1,3	0,7	Nein	61,9
1300	8	0	4	-573	71.582	-0,1	2,3	Nein	48,7
1377	8	1	0	-10.511	-51.399	-1,4	-1,7	Nein	Nein
1378	8	1	1	-761	-1.242	-0,1	0,0	Nein	Nein
2025	9	0	0	-44.784	-146.177	-5,4	-4,5	Nein	Nein
2026	9	0	1	-35.034	-96.021	-4,2	-2,9	Nein	Nein
2027	9	0	2	-25.284	-45.865	-3,0	-1,4	Nein	Nein
2028	9	0	3	-15.534	4.292	-1,8	0,1	Nein	68,4
2029	9	0	4	-5.784	54.448	-0,7	1,6	Nein	54,1
2125	9	1	0	-15.737	-68.571	-1,8	-2,1	Nein	Nein
2126	9	1	1	-5.987	-18.415	-0,7	-0,5	Nein	Nein
3025	10	0	0	-49.995	-163.311	-5,4	-4,5	Nein	Nein
3026	10	0	1	-40.245	-113.155	-4,3	-3,1	Nein	Nein
3027	10	0	2	-30.495	-62.998	-3,2	-1,7	Nein	Nein
3028	10	0	3	-20.745	-12.842	-2,2	-0,3	Nein	Nein
3029	10	0	4	-10.995	37.315	-1,1	1,0	Nein	59,2
3030	10	0	5	-1.245	87.471	-0,1	2,3	Nein	49,1
3146	10	1	0	-20.960	-85.737	-2,2	-2,3	Nein	Nein
3147	10	1	1	-11.210	-35.580	-1,2	-1,0	Nein	Nein
3148	10	1	2	-1.460	14.576	-0,1	0,4	Nein	65,4
3267	10	2	0	8.075	-8.162	0,8	-0,2	61,8	Nein

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-E-EPS

unwirtschaftl. Kombination Nr. [l]	m [l]	Schotte durchnässt [l]		Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
		S ₁	S ₂	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	0	-4.810	-10.536	-7,2	-6,8	Nein	Nein
9	2	0	0	-9.091	-20.188	-6,8	-6,5	Nein	Nein
36	3	0	0	-13.371	-29.840	-6,7	-6,4	Nein	Nein
100	4	0	0	-17.123	-38.610	-6,4	-6,2	Nein	Nein
225	5	0	0	-21.403	-48.262	-6,4	-6,2	Nein	Nein
441	6	0	0	-25.154	-57.031	-6,3	-6,1	Nein	Nein
490	6	1	0	3.863	-1.160	0,9	-0,1	43,9	Nein
784	7	0	0	-29.435	-66.684	-6,3	-6,1	Nein	Nein
792	7	0	1	-430	40.847	-0,1	3,4	Nein	31,7
848	7	1	0	-430	-10.836	-0,1	-0,9	Nein	Nein
1296	8	0	0	-33.186	-75.453	-6,2	-6,1	Nein	Nein
1305	8	0	1	-4.125	32.288	-0,7	2,4	Nein	35,7
1377	8	1	0	-4.125	-19.496	-0,7	-1,5	Nein	Nein
2025	9	0	0	-37.467	-85.105	-6,2	-6,1	Nein	Nein
2035	9	0	1	-8.420	22.581	-1,3	1,5	Nein	40,0
2125	9	1	0	-8.420	-29.177	-1,3	-2,0	Nein	Nein
3025	10	0	0	-41.748	-94.757	-6,2	-6,1	Nein	Nein
3036	10	0	1	-12.712	12.885	-1,8	0,8	Nein	44,3
3146	10	1	0	-12.712	-38.852	-1,8	-2,4	Nein	Nein

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-E-MW

unwirtschaftl. Kombination Nr. [l]	m [l]	Schotte durchnässt [l]		Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
		S ₁	S ₂	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	0	-4.810	-10.536	-5,8	-4,7	Nein	Nein
9	2	0	0	-9.091	-20.188	-5,5	-4,5	Nein	Nein
36	3	0	0	-13.371	-29.840	-5,4	-4,4	Nein	Nein
100	4	0	0	-17.123	-38.610	-5,1	-4,3	Nein	Nein
225	5	0	0	-21.403	-48.262	-5,1	-4,3	Nein	Nein
441	6	0	0	-25.154	-57.031	-5,0	-4,2	Nein	Nein
784	7	0	0	-29.435	-66.684	-5,0	-4,2	Nein	Nein
1296	8	0	0	-33.186	-75.453	-5,0	-4,2	Nein	Nein
2025	9	0	0	-37.467	-85.105	-5,0	-4,2	Nein	Nein
3025	10	0	0	-41.748	-94.757	-5,0	-4,2	Nein	Nein

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-F-EPS

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]			Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
		S ₁	S ₂	KA	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	0	0	-6.350	-21.543	-6,0	-5,5	Nein	Nein
9	2	0	0	0	-11.641	-39.834	-5,5	-5,1	Nein	Nein
10	2	0	0	1	-1.891	-3.688	-0,9	-0,5	Nein	Nein
36	3	0	0	0	-16.933	-58.124	-5,3	-5,0	Nein	Nein
37	3	0	0	1	-7.183	-21.978	-2,2	-1,8	Nein	Nein
52	3	1	0	0	11.820	-2.763	3,4	-0,2	42,6	Nein
100	4	0	0	0	-21.165	-73.163	-5,0	-4,7	Nein	Nein
101	4	0	0	1	-11.415	-37.017	-2,6	-2,3	Nein	Nein
102	4	0	0	2	-1.665	-871	-0,4	-0,1	Nein	Nein
125	4	1	0	0	7.764	-17.461	1,7	-1,1	53,1	Nein
225	5	0	0	0	-26.456	-91.454	-5,0	-4,7	Nein	Nein
226	5	0	0	1	-16.706	-55.308	-3,1	-2,8	Nein	Nein
227	5	0	0	2	-6.956	-19.161	-1,3	-0,9	Nein	Nein
261	5	1	0	0	2.473	-35.752	0,4	-1,8	64,8	Nein
441	6	0	0	0	-30.689	-106.492	-4,8	-4,5	Nein	Nein
442	6	0	0	1	-20.939	-70.346	-3,2	-2,9	Nein	Nein
443	6	0	0	2	-11.189	-34.200	-1,7	-1,4	Nein	Nein
444	6	0	0	3	-1.439	1.946	-0,2	0,1	Nein	68,9
448	6	0	1	0	-1.671	100.640	-0,3	3,9	Nein	38,5
490	6	1	0	0	-1.671	-50.621	-0,3	-2,1	Nein	Nein
491	6	1	0	1	8.079	-14.475	1,2	-0,6	57,4	Nein
784	7	0	0	0	-35.980	-124.783	-4,8	-4,5	Nein	Nein
785	7	0	0	1	-26.230	-88.637	-3,5	-3,2	Nein	Nein
786	7	0	0	2	-16.480	-52.491	-2,2	-1,9	Nein	Nein
787	7	0	0	3	-6.730	-16.345	-0,9	-0,6	Nein	Nein
792	7	0	1	0	-6.975	82.259	-0,9	2,8	Nein	44,5
848	7	1	0	0	-6.975	-68.936	-0,9	-2,5	Nein	Nein
849	7	1	0	1	2.775	-32.790	0,4	-1,2	65,7	Nein
912	7	2	0	0	22.030	-13.089	2,7	-0,5	46,2	Nein
1296	8	0	0	0	-40.213	-139.821	-4,7	-4,4	Nein	Nein
1297	8	0	0	1	-30.463	-103.675	-3,5	-3,3	Nein	Nein
1298	8	0	0	2	-20.713	-67.529	-2,4	-2,1	Nein	Nein
1299	8	0	0	3	-10.963	-31.383	-1,2	-1,0	Nein	Nein
1300	8	0	0	4	-1.213	4.763	-0,1	0,1	Nein	68,0
1305	8	0	1	0	-11.151	67.625	-1,3	2,0	Nein	49,6
1306	8	0	1	1	-1.401	103.772	-0,2	3,1	Nein	42,9
1377	8	1	0	0	-11.151	-83.865	-1,3	-2,6	Nein	Nein
1378	8	1	0	1	-1.401	-47.719	-0,2	-1,5	Nein	Nein
1379	8	1	0	2	8.349	-11.573	0,9	-0,4	59,8	Nein
1458	8	2	0	0	17.911	-27.909	2,0	-0,9	51,2	Nein
2025	9	0	0	0	-45.504	-158.112	-4,7	-4,5	Nein	Nein
2026	9	0	0	1	-35.754	-121.966	-3,7	-3,4	Nein	Nein
2027	9	0	0	2	-26.004	-85.820	-2,7	-2,4	Nein	Nein
2028	9	0	0	3	-16.254	-49.674	-1,6	-1,4	Nein	Nein
2029	9	0	0	4	-6.504	-13.528	-0,7	-0,4	Nein	Nein
2035	9	0	1	0	-16.457	49.230	-1,7	1,3	Nein	55,3
2036	9	0	1	1	-6.707	85.376	-0,7	2,3	Nein	47,9
2125	9	1	0	0	-16.457	-102.184	-1,7	-2,8	Nein	Nein
2126	9	1	0	1	-6.707	-66.038	-0,7	-1,8	Nein	Nein
2127	9	1	0	2	3.043	-29.892	0,3	-0,8	66,3	Nein
2225	9	2	0	0	12.590	-46.256	1,2	-1,3	57,0	Nein
2226	9	2	0	1	22.340	-10.110	2,2	-0,3	49,8	Nein
3025	10	0	0	0	-50.795	-176.403	-4,8	-4,5	Nein	Nein
3026	10	0	0	1	-41.045	-140.257	-3,8	-3,5	Nein	Nein
3027	10	0	0	2	-31.295	-104.111	-2,9	-2,6	Nein	Nein
3028	10	0	0	3	-21.545	-67.965	-2,0	-1,7	Nein	Nein
3029	10	0	0	4	-11.795	-31.818	-1,1	-0,8	Nein	Nein
3030	10	0	0	5	-2.045	4.328	-0,2	0,1	Nein	68,6
3036	10	0	1	0	-21.760	30.855	-2,0	0,7	Nein	60,9
3037	10	0	1	1	-12.010	67.001	-1,1	1,6	Nein	52,8
3038	10	0	1	2	-2.260	103.147	-0,2	2,5	Nein	46,6

Anhang W-F-EPS

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]			Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
		S ₁	S ₂	KA	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
3146	10	1	0	0	-21.760	-120.497	-2,0	-3,0	Nein	Nein
3147	10	1	0	1	-12.010	-84.351	-1,1	-2,1	Nein	Nein
3148	10	1	0	2	-2.260	-48.205	-0,2	-1,2	Nein	Nein
3149	10	1	0	3	7.490	-12.059	0,7	-0,3	62,4	Nein
3267	10	2	0	0	7.275	-64.592	0,6	-1,6	62,6	Nein
3268	10	2	0	1	17.025	-28.446	1,5	-0,7	54,7	Nein
3388	10	3	0	0	36.310	-8.687	3,2	-0,2	43,9	Nein

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchte- monitoring: Anhang W-F-MW

unwirtschaftl. Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]			Einsparung absolut [€]		Einsparung prozentuell [%]		Amortisationsdauer [Jahre]	
		S ₁	S ₂	KA	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR	unverzinst	gem. EWR
1	1	0	0	0	-6.350	-21.543	-4,6	-3,7	Nein	Nein
9	2	0	0	0	-11.641	-39.834	-4,2	-3,4	Nein	Nein
36	3	0	0	0	-16.933	-58.124	-4,1	-3,3	Nein	Nein
37	3	0	0	1	-2.683	-5.295	-0,6	-0,3	Nein	Nein
100	4	0	0	0	-21.165	-73.163	-3,8	-3,1	Nein	Nein
101	4	0	0	1	-6.915	-20.334	-1,2	-0,8	Nein	Nein
225	5	0	0	0	-26.456	-91.454	-3,8	-3,1	Nein	Nein
226	5	0	0	1	-12.206	-38.625	-1,7	-1,3	Nein	Nein
441	6	0	0	0	-30.689	-106.492	-3,7	-3,0	Nein	Nein
442	6	0	0	1	-16.439	-53.663	-1,9	-1,5	Nein	Nein
443	6	0	0	2	-2.189	-834	-0,3	0,0	Nein	Nein
490	6	1	0	0	19.104	-10.620	2,2	-0,3	46,0	Nein
784	7	0	0	0	-35.980	-124.783	-3,7	-3,0	Nein	Nein
785	7	0	0	1	-21.730	-71.954	-2,2	-1,7	Nein	Nein
786	7	0	0	2	-7.480	-19.125	-0,7	-0,5	Nein	Nein
848	7	1	0	0	13.800	-28.935	1,4	-0,7	52,9	Nein
1296	8	0	0	0	-40.213	-139.821	-3,6	-3,0	Nein	Nein
1297	8	0	0	1	-25.963	-86.992	-2,3	-1,8	Nein	Nein
1298	8	0	0	2	-11.713	-34.164	-1,0	-0,7	Nein	Nein
1377	8	1	0	0	9.624	-43.864	0,8	-0,9	58,5	Nein
2025	9	0	0	0	-45.504	-158.112	-3,6	-3,0	Nein	Nein
2026	9	0	0	1	-31.254	-105.283	-2,5	-2,0	Nein	Nein
2027	9	0	0	2	-17.004	-52.454	-1,3	-1,0	Nein	Nein
2028	9	0	0	3	-2.754	375	-0,2	0,0	Nein	69,9
2125	9	1	0	0	4.318	-62.183	0,3	-1,2	64,9	Nein
2126	9	1	0	1	18.568	-9.354	1,4	-0,2	52,3	Nein
3025	10	0	0	0	-50.795	-176.403	-3,7	-3,0	Nein	Nein
3026	10	0	0	1	-36.545	-123.574	-2,6	-2,1	Nein	Nein
3027	10	0	0	2	-22.295	-70.745	-1,6	-1,2	Nein	Nein
3028	10	0	0	3	-8.045	-17.916	-0,6	-0,3	Nein	Nein
3036	10	0	1	0	-985	179.150	-0,1	2,9	Nein	37,4
3146	10	1	0	0	-985	-80.497	-0,1	-1,3	Nein	Nein
3147	10	1	0	1	13.265	-27.668	0,9	-0,5	57,5	Nein

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchtemonitoring: Anhang Ö-A-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	KA	GWP		PEB _{n.e.}	
			Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
1	1	Nein	0,0	0,0	0,0	0,0
5	2	Nein	0,0	0,2	0,8	0,6
14	3	Nein	0,1	0,3	1,5	0,8
30	4	Nein	0,1	0,4	3,0	1,2
55	5	Nein	0,2	0,4	3,8	1,2
91	6	Nein	0,2	0,5	5,3	1,4
140	7	Nein	0,3	0,5	6,1	1,4
204	8	Nein	0,3	0,5	7,6	1,5
285	9	Nein	0,4	0,5	8,4	1,5
385	10	Nein	0,4	0,5	9,1	1,4

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchtemonitoring: Anhang Ö-A-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	KA	GWP		PEB _{n. e.}	
			Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
1	1	Nein	0,0	0,0	0,0	0,0
5	2	Nein	0,0	0,1	0,8	0,4
14	3	Nein	0,1	0,1	1,5	0,6
30	4	Nein	0,1	0,2	3,0	0,9
55	5	Nein	0,2	0,2	3,8	0,9
91	6	Nein	0,2	0,2	5,3	1,0
140	7	Nein	0,3	0,2	6,1	1,0
204	8	Nein	0,3	0,2	7,6	1,1
285	9	Nein	0,4	0,2	8,4	1,1
385	10	Nein	0,4	0,2	9,1	1,0

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchtemonitoring: Anhang Ö-B-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/] S ₁	KA	GWP		PEB _{n.e.}	
				Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
1	1	0	Nein	0,0	0,0	0,0	0,0
3	1	1	Nein	6,1	40,0	22,3	20,0
5	2	0	Nein	0,0	0,2	0,8	0,4
8	2	1	Nein	6,2	25,1	23,4	11,6
11	2	2	Nein	12,3	40,1	46,1	20,6
14	3	0	Nein	0,1	0,3	1,5	0,6
18	3	1	Nein	6,2	18,4	24,3	8,4
22	3	2	Nein	12,3	30,9	47,1	15,0
26	3	3	Nein	18,5	40,1	70,0	20,8
30	4	0	Nein	0,1	0,4	3,0	0,8
35	4	1	Nein	6,3	14,6	26,1	6,8
40	4	2	Nein	12,4	25,3	49,2	12,1
45	4	3	Nein	18,6	33,6	72,2	16,9
50	4	4	Nein	24,7	40,2	95,3	21,1
55	5	0	Nein	0,2	0,4	3,8	0,8
61	5	1	Nein	6,3	12,1	26,9	5,7
67	5	2	Nein	12,5	21,4	49,9	10,1
73	5	3	Nein	18,6	28,9	73,0	14,1
79	5	4	Nein	24,7	35,0	96,1	17,8
85	5	5	Nein	30,9	40,2	119,1	21,1
91	6	0	Nein	0,2	0,4	5,3	1,0
98	6	1	Nein	6,4	10,4	28,5	5,1
105	6	2	Nein	12,5	18,6	51,7	8,8
112	6	3	Nein	18,7	25,3	74,9	12,3
119	6	4	Nein	24,8	31,1	98,1	15,5
126	6	5	Nein	31,0	36,0	121,3	18,5
133	6	6	Nein	37,1	40,3	144,5	21,3
140	7	0	Nein	0,3	0,4	6,1	1,0
148	7	1	Nein	6,4	9,1	29,2	4,5
156	7	2	Nein	12,6	16,4	52,4	7,8
164	7	3	Nein	18,7	22,6	75,6	10,8
172	7	4	Nein	24,9	27,9	98,8	13,7
180	7	5	Nein	31,0	32,6	121,9	16,4
188	7	6	Nein	37,2	36,7	145,1	18,9
196	7	7	Nein	43,3	40,3	168,3	21,3
204	8	0	Nein	0,3	0,5	7,6	1,1
213	8	1	Nein	6,5	8,1	30,8	4,2
222	8	2	Nein	12,7	14,7	54,1	7,1
231	8	3	Nein	18,8	20,4	77,4	9,8
240	8	4	Nein	25,0	25,4	100,6	12,4
249	8	5	Nein	31,1	29,8	123,9	14,8
258	8	6	Nein	37,3	33,7	147,1	17,1
267	8	7	Nein	43,4	37,2	170,4	19,3
276	8	8	Nein	49,6	40,3	193,6	21,4
285	9	0	Nein	0,4	0,5	8,4	1,0
295	9	1	Nein	6,5	7,3	31,6	3,8
305	9	2	Nein	12,7	13,3	54,8	6,4
315	9	3	Nein	18,8	18,6	78,1	8,9
325	9	4	Nein	25,0	23,2	101,3	11,2
335	9	5	Nein	31,1	27,4	124,5	13,5
345	9	6	Nein	37,3	31,1	147,8	15,6
355	9	7	Nein	43,4	34,5	171,0	17,6
365	9	8	Nein	49,6	37,5	194,2	19,5
375	9	9	Nein	55,7	40,3	217,5	21,4
385	10	0	Nein	0,4	0,5	9,1	1,0
396	10	1	Nein	6,6	6,7	32,3	3,5

Anhang Ö-B-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/] S ₁	KA	GWP		PEB _{n.e.}	
				Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
407	10	2	Nein	12,7	12,2	55,5	5,9
418	10	3	Nein	18,9	17,1	78,8	8,1
429	10	4	Nein	25,0	21,4	102,0	10,3
440	10	5	Nein	31,2	25,4	125,2	12,3
451	10	6	Nein	37,3	28,9	148,4	14,3
462	10	7	Nein	43,5	32,1	171,6	16,2
473	10	8	Nein	49,6	35,1	194,8	18,0
484	10	9	Nein	55,8	37,8	218,1	19,7
495	10	10	Nein	61,9	40,3	241,3	21,3

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchtemonitoring: Anhang Ö-B-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/] S ₁	KA	GWP		PEB _{n.e.}	
				Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
1	1	0	Nein	0,0	0,0	0,0	0,0
3	1	1	Nein	16,2	45,7	46,5	29,1
5	2	0	Nein	0,0	0,1	0,8	0,3
8	2	1	Nein	16,3	29,7	47,6	17,4
11	2	2	Nein	32,5	45,7	94,5	29,5
14	3	0	Nein	0,1	0,1	1,5	0,4
18	3	1	Nein	16,3	22,0	48,5	12,5
22	3	2	Nein	32,5	36,0	95,5	22,0
26	3	3	Nein	48,8	45,8	142,5	29,6
30	4	0	Nein	0,1	0,2	3,0	0,7
35	4	1	Nein	16,4	17,5	50,3	10,0
40	4	2	Nein	32,6	29,7	97,5	17,7
45	4	3	Nein	48,9	38,8	144,8	24,2
50	4	4	Nein	65,1	45,8	192,1	29,8
55	5	0	Nein	0,2	0,2	3,8	0,7
61	5	1	Nein	16,4	14,6	51,1	8,3
67	5	2	Nein	32,7	25,3	98,3	14,8
73	5	3	Nein	48,9	33,7	145,6	20,5
79	5	4	Nein	65,2	40,3	192,8	25,4
85	5	5	Nein	81,4	45,8	240,1	29,8
91	6	0	Nein	0,2	0,2	5,3	0,8
98	6	1	Nein	16,5	12,5	52,7	7,2
105	6	2	Nein	32,7	22,1	100,1	12,8
112	6	3	Nein	49,0	29,8	147,5	17,8
119	6	4	Nein	65,3	36,1	194,8	22,3
126	6	5	Nein	81,5	41,3	242,2	26,3
133	6	6	Nein	97,8	45,8	289,6	29,9
140	7	0	Nein	0,3	0,2	6,1	0,8
148	7	1	Nein	16,5	10,9	53,4	6,3
156	7	2	Nein	32,8	19,5	100,8	11,3
164	7	3	Nein	49,0	26,7	148,2	15,8
172	7	4	Nein	65,3	32,6	195,5	19,8
180	7	5	Nein	81,5	37,7	242,9	23,5
188	7	6	Nein	97,8	42,0	290,3	26,8
196	7	7	Nein	114,0	45,8	337,6	29,9
204	8	0	Nein	0,3	0,2	7,6	0,8
213	8	1	Nein	16,6	9,7	55,0	5,7
222	8	2	Nein	32,9	17,6	102,5	10,2
231	8	3	Nein	49,1	24,2	149,9	14,2
240	8	4	Nein	65,4	29,8	197,4	17,9
249	8	5	Nein	81,6	34,6	244,8	21,3
258	8	6	Nein	97,9	38,8	292,3	24,4
267	8	7	Nein	114,1	42,5	339,7	27,3
276	8	8	Nein	130,4	45,8	387,2	29,9
285	9	0	Nein	0,4	0,2	8,4	0,8
295	9	1	Nein	16,6	8,8	55,8	5,2
305	9	2	Nein	32,9	15,9	103,2	9,2
315	9	3	Nein	49,1	22,1	150,6	12,9
325	9	4	Nein	65,4	27,4	198,1	16,3
335	9	5	Nein	81,7	32,0	245,5	19,4
345	9	6	Nein	97,9	36,1	292,9	22,3
355	9	7	Nein	114,2	39,7	340,3	25,0
365	9	8	Nein	130,4	42,9	387,8	27,6
375	9	9	Nein	146,7	45,8	435,2	29,9
385	10	0	Nein	0,4	0,2	9,1	0,8
396	10	1	Nein	16,7	8,0	56,5	4,8

Anhang Ö-B-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/] S ₁	KA	GWP		PEB _{n.e.}	
				Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
407	10	2	Nein	32,9	14,6	103,9	8,4
418	10	3	Nein	49,2	20,3	151,3	11,8
429	10	4	Nein	65,4	25,3	198,7	14,9
440	10	5	Nein	81,7	29,8	246,2	17,9
451	10	6	Nein	97,9	33,7	293,6	20,6
462	10	7	Nein	114,2	37,2	341,0	23,1
473	10	8	Nein	130,4	40,4	388,4	25,5
484	10	9	Nein	146,7	43,2	435,8	27,8
495	10	10	Nein	162,9	45,8	483,2	29,9

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchtemonitoring: Anhang Ö-C-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	KA	GWP		PEB _{n. e.}	
			Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
1	1	Ja	0,0	0,0	0,0	0,0
5	2	Ja	0,1	0,2	1,5	0,6
14	3	Ja	0,1	0,3	3,0	0,8
30	4	Ja	0,3	0,4	6,1	1,2
55	5	Ja	0,3	0,4	7,6	1,2
91	6	Ja	0,5	0,5	10,6	1,4
140	7	Ja	0,6	0,5	12,1	1,4
204	8	Ja	0,7	0,5	15,2	1,5
285	9	Ja	0,8	0,5	16,7	1,5
385	10	Ja	0,8	0,5	18,2	1,4

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchtemonitoring: Anhang Ö-C-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	KA	GWP		PEB _{n. e.}	
			Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
1	1	Ja	0,0	0,0	0,0	0,0
5	2	Ja	0,1	0,1	1,5	0,4
14	3	Ja	0,1	0,1	3,0	0,6
30	4	Ja	0,3	0,2	6,1	0,9
55	5	Ja	0,3	0,2	7,6	0,9
91	6	Ja	0,5	0,2	10,6	1,0
140	7	Ja	0,6	0,2	12,1	1,0
204	8	Ja	0,7	0,2	15,2	1,1
285	9	Ja	0,8	0,2	16,7	1,1
385	10	Ja	0,8	0,2	18,2	1,0

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchtemonitoring: Anhang Ö-D-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/] S ₁	KA	GWP		PEB _{n.e.}	
				Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
1	1	0	Ja	0,0	0,0	0,0	0,0
3	1	1	Ja	6,1	26,3	22,3	12,8
5	2	0	Ja	0,1	0,2	1,5	0,5
8	2	1	Ja	6,2	15,3	24,2	7,4
11	2	2	Ja	12,3	26,5	46,9	13,4
14	3	0	Ja	0,1	0,3	3,0	0,7
18	3	1	Ja	6,3	10,9	25,8	5,4
22	3	2	Ja	12,4	19,4	48,7	9,7
26	3	3	Ja	18,5	26,5	71,5	13,6
30	4	0	Ja	0,3	0,4	6,1	1,0
35	4	1	Ja	6,4	8,6	29,1	4,6
40	4	2	Ja	12,6	15,5	52,2	7,9
45	4	3	Ja	18,7	21,5	75,3	11,1
50	4	4	Ja	24,9	26,6	98,3	14,0
55	5	0	Ja	0,3	0,4	7,6	1,0
61	5	1	Ja	6,5	7,0	30,7	3,9
67	5	2	Ja	12,6	12,9	53,7	6,6
73	5	3	Ja	18,8	18,0	76,8	9,2
79	5	4	Ja	24,9	22,5	99,9	11,7
85	5	5	Ja	31,1	26,6	122,9	14,0
91	6	0	Ja	0,5	0,5	10,6	1,2
98	6	1	Ja	6,6	6,1	33,8	3,6
105	6	2	Ja	12,8	11,1	57,0	5,9
112	6	3	Ja	18,9	15,6	80,2	8,1
119	6	4	Ja	25,1	19,6	103,4	10,2
126	6	5	Ja	31,2	23,3	126,6	12,2
133	6	6	Ja	37,4	26,7	149,8	14,2
140	7	0	Ja	0,6	0,5	12,1	1,1
148	7	1	Ja	6,7	5,3	35,3	3,2
156	7	2	Ja	12,9	9,7	58,5	5,2
164	7	3	Ja	19,0	13,7	81,7	7,2
172	7	4	Ja	25,2	17,3	104,8	9,0
180	7	5	Ja	31,3	20,7	128,0	10,8
188	7	6	Ja	37,4	23,8	151,2	12,5
196	7	7	Ja	43,6	26,7	174,4	14,1
204	8	0	Ja	0,7	0,5	15,2	1,2
213	8	1	Ja	6,8	4,8	38,4	3,1
222	8	2	Ja	13,0	8,7	61,7	4,8
231	8	3	Ja	19,2	12,3	85,0	6,6
240	8	4	Ja	25,3	15,6	108,2	8,2
249	8	5	Ja	31,5	18,7	131,5	9,8
258	8	6	Ja	37,6	21,5	154,7	11,3
267	8	7	Ja	43,8	24,2	178,0	12,8
276	8	8	Ja	49,9	26,7	201,2	14,3
285	9	0	Ja	0,8	0,5	16,7	1,2
295	9	1	Ja	6,9	4,3	39,9	2,8
305	9	2	Ja	13,1	7,8	63,2	4,4
315	9	3	Ja	19,2	11,1	86,4	6,0
325	9	4	Ja	25,4	14,1	109,6	7,5
335	9	5	Ja	31,5	17,0	132,9	8,9
345	9	6	Ja	37,7	19,6	156,1	10,3
355	9	7	Ja	43,8	22,1	179,3	11,6
365	9	8	Ja	50,0	24,5	202,6	12,9
375	9	9	Ja	56,1	26,7	225,8	14,2
385	10	0	Ja	0,8	0,5	18,2	1,2
396	10	1	Ja	7,0	3,9	41,4	2,7

Anhang Ö-D-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/] S ₁	KA	GWP		PEB _{n.e.}	
				Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
407	10	2	Ja	13,1	7,1	64,7	4,1
418	10	3	Ja	19,3	10,1	87,9	5,5
429	10	4	Ja	25,4	12,9	111,1	6,8
440	10	5	Ja	31,6	15,6	134,3	8,2
451	10	6	Ja	37,7	18,1	157,5	9,4
462	10	7	Ja	43,9	20,4	180,7	10,7
473	10	8	Ja	50,0	22,6	204,0	11,9
484	10	9	Ja	56,2	24,7	227,2	13,1
495	10	10	Ja	62,3	26,7	250,4	14,2

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchtemonitoring: Anhang Ö-D-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/] S ₁	KA	GWP		PEB _{n.e.}	
				Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
1	1	0	Ja	0,0	0,0	0,0	0,0
3	1	1	Ja	16,2	30,3	46,5	18,9
5	2	0	Ja	0,1	0,1	1,5	0,4
8	2	1	Ja	16,3	17,9	48,4	10,8
11	2	2	Ja	32,5	30,3	95,3	19,3
14	3	0	Ja	0,1	0,1	3,0	0,5
18	3	1	Ja	16,4	12,8	50,0	7,7
22	3	2	Ja	32,6	22,6	97,0	13,9
26	3	3	Ja	48,8	30,4	144,0	19,4
30	4	0	Ja	0,3	0,2	6,1	0,8
35	4	1	Ja	16,5	10,0	53,3	6,3
40	4	2	Ja	32,8	18,0	100,6	11,2
45	4	3	Ja	49,0	24,7	147,8	15,6
50	4	4	Ja	65,3	30,4	195,1	19,6
55	5	0	Ja	0,3	0,2	7,6	0,8
61	5	1	Ja	16,6	8,2	54,8	5,2
67	5	2	Ja	32,8	15,0	102,1	9,3
73	5	3	Ja	49,1	20,8	149,4	13,0
79	5	4	Ja	65,3	25,9	196,6	16,5
85	5	5	Ja	81,6	30,4	243,9	19,6
91	6	0	Ja	0,5	0,2	10,6	0,9
98	6	1	Ja	16,7	7,0	58,0	4,6
105	6	2	Ja	33,0	12,8	105,4	8,1
112	6	3	Ja	49,2	18,0	152,8	11,3
119	6	4	Ja	65,5	22,6	200,2	14,3
126	6	5	Ja	81,7	26,7	247,5	17,1
133	6	6	Ja	98,0	30,4	294,9	19,8
140	7	0	Ja	0,6	0,2	12,1	0,9
148	7	1	Ja	16,8	6,0	59,5	4,1
156	7	2	Ja	33,1	11,2	106,9	7,1
164	7	3	Ja	49,3	15,9	154,2	9,9
172	7	4	Ja	65,6	20,1	201,6	12,6
180	7	5	Ja	81,8	23,8	249,0	15,1
188	7	6	Ja	98,1	27,3	296,3	17,5
196	7	7	Ja	114,3	30,4	343,7	19,7
204	8	0	Ja	0,7	0,2	15,2	0,9
213	8	1	Ja	17,0	5,4	62,6	3,8
222	8	2	Ja	33,2	10,0	110,1	6,4
231	8	3	Ja	49,5	14,2	157,5	9,0
240	8	4	Ja	65,7	18,0	205,0	11,4
249	8	5	Ja	82,0	21,5	252,4	13,6
258	8	6	Ja	98,2	24,8	299,9	15,8
267	8	7	Ja	114,5	27,7	347,3	17,9
276	8	8	Ja	130,7	30,4	394,8	19,8
285	9	0	Ja	0,8	0,2	16,7	0,9
295	9	1	Ja	17,0	4,8	64,1	3,4
305	9	2	Ja	33,3	9,0	111,6	5,8
315	9	3	Ja	49,5	12,8	159,0	8,1
325	9	4	Ja	65,8	16,4	206,4	10,3
335	9	5	Ja	82,0	19,6	253,8	12,4
345	9	6	Ja	98,3	22,6	301,3	14,4
355	9	7	Ja	114,5	25,4	348,7	16,2
365	9	8	Ja	130,8	28,0	396,1	18,1
375	9	9	Ja	147,1	30,4	443,5	19,8
385	10	0	Ja	0,8	0,2	18,2	0,9
396	10	1	Ja	17,1	4,4	65,6	3,2

Anhang Ö-D-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/] S ₁	KA	GWP		PEB _{n.e.}	
				Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
407	10	2	Ja	33,3	8,2	113,0	5,4
418	10	3	Ja	49,6	11,7	160,4	7,4
429	10	4	Ja	65,8	15,0	207,9	9,4
440	10	5	Ja	82,1	18,0	255,3	11,3
451	10	6	Ja	98,4	20,9	302,7	13,2
462	10	7	Ja	114,6	23,5	350,1	14,9
473	10	8	Ja	130,9	26,0	397,5	16,6
484	10	9	Ja	147,1	28,3	444,9	18,2
495	10	10	Ja	163,4	30,4	492,3	19,8

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchtemonitoring: Anhang Ö-E-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
1	1	0	0	Nein	0,0	0,0	0,0	0,0
3	1	1	0	Nein	6,1	37,0	22,3	16,2
4	1	1	1	Nein	12,2	54,0	44,6	27,8
5	2	0	0	Nein	0,0	0,2	0,8	0,3
8	2	1	0	Nein	6,2	22,8	23,4	9,2
9	2	1	1	Nein	12,3	37,1	46,1	16,6
11	2	2	0	Nein	12,3	37,1	46,1	16,6
12	2	2	1	Nein	18,4	47,0	68,8	22,9
13	2	2	2	Nein	24,5	54,1	91,5	28,3
14	3	0	0	Nein	0,1	0,2	1,5	0,4
18	3	1	0	Nein	6,2	16,6	24,3	6,6
19	3	1	1	Nein	12,3	28,3	47,1	12,0
22	3	2	0	Nein	12,3	28,3	47,1	12,0
23	3	2	1	Nein	18,5	37,2	70,0	16,8
24	3	2	2	Nein	24,6	44,1	92,8	21,1
26	3	3	0	Nein	18,5	37,2	70,0	16,8
27	3	3	1	Nein	24,6	44,1	92,8	21,1
28	3	3	2	Nein	30,7	49,6	115,6	25,0
29	3	3	3	Nein	36,9	54,2	138,4	28,5
30	4	0	0	Nein	0,1	0,3	3,0	0,7
35	4	1	0	Nein	6,3	13,1	26,1	5,3
36	4	1	1	Nein	12,4	23,0	49,2	9,6
40	4	2	0	Nein	12,4	23,0	49,2	9,6
41	4	2	1	Nein	18,6	30,9	72,2	13,5
42	4	2	2	Nein	24,7	37,3	95,3	17,1
45	4	3	0	Nein	18,6	30,9	72,2	13,5
46	4	3	1	Nein	24,7	37,3	95,3	17,1
47	4	3	2	Nein	30,9	42,6	118,4	20,4
48	4	3	3	Nein	37,0	47,1	141,4	23,4
50	4	4	0	Nein	24,7	37,3	95,3	17,1
51	4	4	1	Nein	30,9	42,6	118,4	20,4
52	4	4	2	Nein	37,0	47,1	141,4	23,4
53	4	4	3	Nein	43,1	50,9	164,5	26,2
54	4	4	4	Nein	49,3	54,2	187,6	28,8
55	5	0	0	Nein	0,2	0,3	3,8	0,7
61	5	1	0	Nein	6,3	10,8	26,9	4,4
62	5	1	1	Nein	12,5	19,3	49,9	7,9
67	5	2	0	Nein	12,5	19,3	49,9	7,9
68	5	2	1	Nein	18,6	26,3	73,0	11,2
69	5	2	2	Nein	24,7	32,2	96,1	14,2
73	5	3	0	Nein	18,6	26,3	73,0	11,2
74	5	3	1	Nein	24,7	32,2	96,1	14,2
75	5	3	2	Nein	30,9	37,3	119,1	17,1
76	5	3	3	Nein	37,0	41,6	142,2	19,7
79	5	4	0	Nein	24,7	32,2	96,1	14,2
80	5	4	1	Nein	30,9	37,3	119,1	17,1
81	5	4	2	Nein	37,0	41,6	142,2	19,7
82	5	4	3	Nein	43,2	45,4	165,3	22,2
83	5	4	4	Nein	49,3	48,7	188,3	24,6
85	5	5	0	Nein	30,9	37,3	119,1	17,1
86	5	5	1	Nein	37,0	41,6	142,2	19,7
87	5	5	2	Nein	43,2	45,4	165,3	22,2
88	5	5	3	Nein	49,3	48,7	188,3	24,6
89	5	5	4	Nein	55,5	51,6	211,4	26,8
90	5	5	5	Nein	61,6	54,2	234,4	28,8

Anhang Ö-E-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
91	6	0	0	Nein	0,2	0,4	5,3	0,8
98	6	1	0	Nein	6,4	9,3	28,5	3,9
99	6	1	1	Nein	12,5	16,7	51,7	6,9
105	6	2	0	Nein	12,5	16,7	51,7	6,9
106	6	2	1	Nein	18,7	23,0	74,9	9,7
107	6	2	2	Nein	24,8	28,5	98,1	12,4
112	6	3	0	Nein	18,7	23,0	74,9	9,7
113	6	3	1	Nein	24,8	28,5	98,1	12,4
114	6	3	2	Nein	31,0	33,2	121,3	14,9
115	6	3	3	Nein	37,1	37,3	144,5	17,2
119	6	4	0	Nein	24,8	28,5	98,1	12,4
120	6	4	1	Nein	31,0	33,2	121,3	14,9
121	6	4	2	Nein	37,1	37,3	144,5	17,2
122	6	4	3	Nein	43,3	41,0	167,7	19,5
123	6	4	4	Nein	49,4	44,2	190,8	21,6
126	6	5	0	Nein	31,0	33,2	121,3	14,9
127	6	5	1	Nein	37,1	37,3	144,5	17,2
128	6	5	2	Nein	43,3	41,0	167,7	19,5
129	6	5	3	Nein	49,4	44,2	190,8	21,6
130	6	5	4	Nein	55,6	47,1	214,0	23,6
131	6	5	5	Nein	61,7	49,7	237,2	25,5
133	6	6	0	Nein	37,1	37,3	144,5	17,2
134	6	6	1	Nein	43,3	41,0	167,7	19,5
135	6	6	2	Nein	49,4	44,2	190,8	21,6
136	6	6	3	Nein	55,6	47,1	214,0	23,6
137	6	6	4	Nein	61,7	49,7	237,2	25,5
138	6	6	5	Nein	67,9	52,1	260,4	27,3
139	6	6	6	Nein	74,0	54,3	283,6	29,0
140	7	0	0	Nein	0,3	0,4	6,1	0,7
148	7	1	0	Nein	6,4	8,1	29,2	3,5
149	7	1	1	Nein	12,6	14,7	52,4	6,1
156	7	2	0	Nein	12,6	14,7	52,4	6,1
157	7	2	1	Nein	18,7	20,5	75,6	8,5
158	7	2	2	Nein	24,9	25,5	98,8	10,9
164	7	3	0	Nein	18,7	20,5	75,6	8,5
165	7	3	1	Nein	24,9	25,5	98,8	10,9
166	7	3	2	Nein	31,0	29,9	121,9	13,1
167	7	3	3	Nein	37,2	33,8	145,1	15,2
172	7	4	0	Nein	24,9	25,5	98,8	10,9
173	7	4	1	Nein	31,0	29,9	121,9	13,1
174	7	4	2	Nein	37,2	33,8	145,1	15,2
175	7	4	3	Nein	43,3	37,3	168,3	17,2
176	7	4	4	Nein	49,5	40,5	191,5	19,1
180	7	5	0	Nein	31,0	29,9	121,9	13,1
181	7	5	1	Nein	37,2	33,8	145,1	15,2
182	7	5	2	Nein	43,3	37,3	168,3	17,2
183	7	5	3	Nein	49,5	40,5	191,5	19,1
184	7	5	4	Nein	55,6	43,3	214,6	21,0
185	7	5	5	Nein	61,8	45,9	237,8	22,7
188	7	6	0	Nein	37,2	33,8	145,1	15,2
189	7	6	1	Nein	43,3	37,3	168,3	17,2
190	7	6	2	Nein	49,5	40,5	191,5	19,1
191	7	6	3	Nein	55,6	43,3	214,6	21,0
192	7	6	4	Nein	61,8	45,9	237,8	22,7
193	7	6	5	Nein	67,9	48,3	261,0	24,4
194	7	6	6	Nein	74,1	50,4	284,2	26,0
196	7	7	0	Nein	43,3	37,3	168,3	17,2
197	7	7	1	Nein	49,5	40,5	191,5	19,1

Anhang Ö-E-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
198	7	7	2	Nein	55,6	43,3	214,6	21,0
199	7	7	3	Nein	61,8	45,9	237,8	22,7
200	7	7	4	Nein	67,9	48,3	261,0	24,4
201	7	7	5	Nein	74,1	50,4	284,2	26,0
202	7	7	6	Nein	80,2	52,4	307,3	27,5
203	7	7	7	Nein	86,3	54,3	330,5	29,0
204	8	0	0	Nein	0,3	0,4	7,6	0,8
213	8	1	0	Nein	6,5	7,2	30,8	3,2
214	8	1	1	Nein	12,7	13,2	54,1	5,5
222	8	2	0	Nein	12,7	13,2	54,1	5,5
223	8	2	1	Nein	18,8	18,4	77,4	7,7
224	8	2	2	Nein	25,0	23,1	100,6	9,8
231	8	3	0	Nein	18,8	18,4	77,4	7,7
232	8	3	1	Nein	25,0	23,1	100,6	9,8
233	8	3	2	Nein	31,1	27,2	123,9	11,8
234	8	3	3	Nein	37,3	30,9	147,1	13,7
240	8	4	0	Nein	25,0	23,1	100,6	9,8
241	8	4	1	Nein	31,1	27,2	123,9	11,8
242	8	4	2	Nein	37,3	30,9	147,1	13,7
243	8	4	3	Nein	43,4	34,3	170,4	15,5
244	8	4	4	Nein	49,6	37,3	193,6	17,3
249	8	5	0	Nein	31,1	27,2	123,9	11,8
250	8	5	1	Nein	37,3	30,9	147,1	13,7
251	8	5	2	Nein	43,4	34,3	170,4	15,5
252	8	5	3	Nein	49,6	37,3	193,6	17,3
253	8	5	4	Nein	55,7	40,1	216,9	19,0
254	8	5	5	Nein	61,9	42,6	240,1	20,6
258	8	6	0	Nein	37,3	30,9	147,1	13,7
259	8	6	1	Nein	43,4	34,3	170,4	15,5
260	8	6	2	Nein	49,6	37,3	193,6	17,3
261	8	6	3	Nein	55,7	40,1	216,9	19,0
262	8	6	4	Nein	61,9	42,6	240,1	20,6
263	8	6	5	Nein	68,0	45,0	263,4	22,2
264	8	6	6	Nein	74,2	47,1	286,7	23,6
267	8	7	0	Nein	43,4	34,3	170,4	15,5
268	8	7	1	Nein	49,6	37,3	193,6	17,3
269	8	7	2	Nein	55,7	40,1	216,9	19,0
270	8	7	3	Nein	61,9	42,6	240,1	20,6
271	8	7	4	Nein	68,0	45,0	263,4	22,2
272	8	7	5	Nein	74,2	47,1	286,7	23,6
273	8	7	6	Nein	80,3	49,1	309,9	25,1
274	8	7	7	Nein	86,5	51,0	333,2	26,5
276	8	8	0	Nein	49,6	37,3	193,6	17,3
277	8	8	1	Nein	55,7	40,1	216,9	19,0
278	8	8	2	Nein	61,9	42,6	240,1	20,6
279	8	8	3	Nein	68,0	45,0	263,4	22,2
280	8	8	4	Nein	74,2	47,1	286,7	23,6
281	8	8	5	Nein	80,3	49,1	309,9	25,1
282	8	8	6	Nein	86,5	51,0	333,2	26,5
283	8	8	7	Nein	92,6	52,7	356,4	27,8
284	8	8	8	Nein	98,8	54,3	379,7	29,1
285	9	0	0	Nein	0,4	0,4	8,4	0,8
295	9	1	0	Nein	6,5	6,5	31,6	2,9
296	9	1	1	Nein	12,7	11,9	54,8	5,0
305	9	2	0	Nein	12,7	11,9	54,8	5,0
306	9	2	1	Nein	18,8	16,8	78,1	7,0
307	9	2	2	Nein	25,0	21,1	101,3	8,9
315	9	3	0	Nein	18,8	16,8	78,1	7,0

Anhang Ö-E-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
316	9	3	1	Nein	25,0	21,1	101,3	8,9
317	9	3	2	Nein	31,1	25,0	124,5	10,7
318	9	3	3	Nein	37,3	28,5	147,8	12,4
325	9	4	0	Nein	25,0	21,1	101,3	8,9
326	9	4	1	Nein	31,1	25,0	124,5	10,7
327	9	4	2	Nein	37,3	28,5	147,8	12,4
328	9	4	3	Nein	43,4	31,7	171,0	14,1
329	9	4	4	Nein	49,6	34,6	194,2	15,7
335	9	5	0	Nein	31,1	25,0	124,5	10,7
336	9	5	1	Nein	37,3	28,5	147,8	12,4
337	9	5	2	Nein	43,4	31,7	171,0	14,1
338	9	5	3	Nein	49,6	34,6	194,2	15,7
339	9	5	4	Nein	55,7	37,3	217,5	17,3
340	9	5	5	Nein	61,9	39,8	240,7	18,8
345	9	6	0	Nein	37,3	28,5	147,8	12,4
346	9	6	1	Nein	43,4	31,7	171,0	14,1
347	9	6	2	Nein	49,6	34,6	194,2	15,7
348	9	6	3	Nein	55,7	37,3	217,5	17,3
349	9	6	4	Nein	61,9	39,8	240,7	18,8
350	9	6	5	Nein	68,0	42,1	263,9	20,2
351	9	6	6	Nein	74,2	44,2	287,2	21,6
355	9	7	0	Nein	43,4	31,7	171,0	14,1
356	9	7	1	Nein	49,6	34,6	194,2	15,7
357	9	7	2	Nein	55,7	37,3	217,5	17,3
358	9	7	3	Nein	61,9	39,8	240,7	18,8
359	9	7	4	Nein	68,0	42,1	263,9	20,2
360	9	7	5	Nein	74,2	44,2	287,2	21,6
361	9	7	6	Nein	80,3	46,2	310,4	23,0
362	9	7	7	Nein	86,5	48,0	333,6	24,3
365	9	8	0	Nein	49,6	34,6	194,2	15,7
366	9	8	1	Nein	55,7	37,3	217,5	17,3
367	9	8	2	Nein	61,9	39,8	240,7	18,8
368	9	8	3	Nein	68,0	42,1	263,9	20,2
369	9	8	4	Nein	74,2	44,2	287,2	21,6
370	9	8	5	Nein	80,3	46,2	310,4	23,0
371	9	8	6	Nein	86,5	48,0	333,6	24,3
372	9	8	7	Nein	92,6	49,7	356,9	25,5
373	9	8	8	Nein	98,8	51,3	380,1	26,7
375	9	9	0	Nein	55,7	37,3	217,5	17,3
376	9	9	1	Nein	61,9	39,8	240,7	18,8
377	9	9	2	Nein	68,0	42,1	263,9	20,2
378	9	9	3	Nein	74,2	44,2	287,2	21,6
379	9	9	4	Nein	80,3	46,2	310,4	23,0
380	9	9	5	Nein	86,5	48,0	333,6	24,3
381	9	9	6	Nein	92,6	49,7	356,9	25,5
382	9	9	7	Nein	98,8	51,3	380,1	26,7
383	9	9	8	Nein	104,9	52,9	403,3	27,9
384	9	9	9	Nein	111,1	54,3	426,6	29,1
385	10	0	0	Nein	0,4	0,4	9,1	0,8
396	10	1	0	Nein	6,6	5,9	32,3	2,7
397	10	1	1	Nein	12,7	10,9	55,5	4,6
407	10	2	0	Nein	12,7	10,9	55,5	4,6
408	10	2	1	Nein	18,9	15,4	78,8	6,4
409	10	2	2	Nein	25,0	19,4	102,0	8,1
418	10	3	0	Nein	18,9	15,4	78,8	6,4
419	10	3	1	Nein	25,0	19,4	102,0	8,1
420	10	3	2	Nein	31,2	23,1	125,2	9,8
421	10	3	3	Nein	37,3	26,4	148,4	11,4

Anhang Ö-E-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
429	10	4	0	Nein	25,0	19,4	102,0	8,1
430	10	4	1	Nein	31,2	23,1	125,2	9,8
431	10	4	2	Nein	37,3	26,4	148,4	11,4
432	10	4	3	Nein	43,5	29,5	171,6	12,9
433	10	4	4	Nein	49,6	32,3	194,8	14,4
440	10	5	0	Nein	31,2	23,1	125,2	9,8
441	10	5	1	Nein	37,3	26,4	148,4	11,4
442	10	5	2	Nein	43,5	29,5	171,6	12,9
443	10	5	3	Nein	49,6	32,3	194,8	14,4
444	10	5	4	Nein	55,8	34,9	218,1	15,9
445	10	5	5	Nein	61,9	37,3	241,3	17,3
451	10	6	0	Nein	37,3	26,4	148,4	11,4
452	10	6	1	Nein	43,5	29,5	171,6	12,9
453	10	6	2	Nein	49,6	32,3	194,8	14,4
454	10	6	3	Nein	55,8	34,9	218,1	15,9
455	10	6	4	Nein	61,9	37,3	241,3	17,3
456	10	6	5	Nein	68,1	39,6	264,5	18,6
457	10	6	6	Nein	74,2	41,6	287,7	19,9
462	10	7	0	Nein	43,5	29,5	171,6	12,9
463	10	7	1	Nein	49,6	32,3	194,8	14,4
464	10	7	2	Nein	55,8	34,9	218,1	15,9
465	10	7	3	Nein	61,9	37,3	241,3	17,3
466	10	7	4	Nein	68,1	39,6	264,5	18,6
467	10	7	5	Nein	74,2	41,6	287,7	19,9
468	10	7	6	Nein	80,4	43,6	310,9	21,2
469	10	7	7	Nein	86,5	45,4	334,1	22,4
473	10	8	0	Nein	49,6	32,3	194,8	14,4
474	10	8	1	Nein	55,8	34,9	218,1	15,9
475	10	8	2	Nein	61,9	37,3	241,3	17,3
476	10	8	3	Nein	68,1	39,6	264,5	18,6
477	10	8	4	Nein	74,2	41,6	287,7	19,9
478	10	8	5	Nein	80,4	43,6	310,9	21,2
479	10	8	6	Nein	86,5	45,4	334,1	22,4
480	10	8	7	Nein	92,7	47,1	357,4	23,6
481	10	8	8	Nein	98,8	48,7	380,6	24,8
484	10	9	0	Nein	55,8	34,9	218,1	15,9
485	10	9	1	Nein	61,9	37,3	241,3	17,3
486	10	9	2	Nein	68,1	39,6	264,5	18,6
487	10	9	3	Nein	74,2	41,6	287,7	19,9
488	10	9	4	Nein	80,4	43,6	310,9	21,2
489	10	9	5	Nein	86,5	45,4	334,1	22,4
490	10	9	6	Nein	92,7	47,1	357,4	23,6
491	10	9	7	Nein	98,8	48,7	380,6	24,8
492	10	9	8	Nein	105,0	50,2	403,8	25,9
493	10	9	9	Nein	111,1	51,7	427,0	27,0
495	10	10	0	Nein	61,9	37,3	241,3	17,3
496	10	10	1	Nein	68,1	39,6	264,5	18,6
497	10	10	2	Nein	74,2	41,6	287,7	19,9
498	10	10	3	Nein	80,4	43,6	310,9	21,2
499	10	10	4	Nein	86,5	45,4	334,1	22,4
500	10	10	5	Nein	92,7	47,1	357,4	23,6
501	10	10	6	Nein	98,8	48,7	380,6	24,8
502	10	10	7	Nein	105,0	50,2	403,8	25,9
503	10	10	8	Nein	111,1	51,7	427,0	27,0
504	10	10	9	Nein	117,3	53,0	450,2	28,0
505	10	10	10	Nein	123,4	54,3	473,5	29,0

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchtemonitoring: Anhang Ö-E-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n. e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
1	1	0	0	Nein	0,0	0,0	0,0	0,0
3	1	1	0	Nein	16,2	44,2	46,5	24,9
4	1	1	1	Nein	32,4	61,3	93,0	39,9
5	2	0	0	Nein	0,0	0,1	0,8	0,3
8	2	1	0	Nein	16,3	28,4	47,6	14,6
9	2	1	1	Nein	32,5	44,2	94,5	25,3
11	2	2	0	Nein	32,5	44,2	94,5	25,3
12	2	2	1	Nein	48,7	54,3	141,4	33,6
13	2	2	2	Nein	64,9	61,3	188,3	40,2
14	3	0	0	Nein	0,1	0,1	1,5	0,4
18	3	1	0	Nein	16,3	21,0	48,5	10,4
19	3	1	1	Nein	32,5	34,6	95,5	18,5
22	3	2	0	Nein	32,5	34,6	95,5	18,5
23	3	2	1	Nein	48,8	44,2	142,5	25,4
24	3	2	2	Nein	65,0	51,4	189,5	31,1
26	3	3	0	Nein	48,8	44,2	142,5	25,4
27	3	3	1	Nein	65,0	51,4	189,5	31,1
28	3	3	2	Nein	81,2	56,9	236,5	36,0
29	3	3	3	Nein	97,5	61,3	283,5	40,3
30	4	0	0	Nein	0,1	0,2	3,0	0,5
35	4	1	0	Nein	16,4	16,7	50,3	8,2
36	4	1	1	Nein	32,6	28,5	97,5	14,8
40	4	2	0	Nein	32,6	28,5	97,5	14,8
41	4	2	1	Nein	48,9	37,3	144,8	20,6
42	4	2	2	Nein	65,1	44,3	192,1	25,6
45	4	3	0	Nein	48,9	37,3	144,8	20,6
46	4	3	1	Nein	65,1	44,3	192,1	25,6
47	4	3	2	Nein	81,4	49,8	239,3	30,0
48	4	3	3	Nein	97,6	54,3	286,6	33,9
50	4	4	0	Nein	65,1	44,3	192,1	25,6
51	4	4	1	Nein	81,4	49,8	239,3	30,0
52	4	4	2	Nein	97,6	54,3	286,6	33,9
53	4	4	3	Nein	113,9	58,1	333,8	37,4
54	4	4	4	Nein	130,1	61,3	381,1	40,5
55	5	0	0	Nein	0,2	0,2	3,8	0,5
61	5	1	0	Nein	16,4	13,8	51,1	6,8
62	5	1	1	Nein	32,7	24,2	98,3	12,3
67	5	2	0	Nein	32,7	24,2	98,3	12,3
68	5	2	1	Nein	48,9	32,3	145,6	17,2
69	5	2	2	Nein	65,2	38,9	192,8	21,6
73	5	3	0	Nein	48,9	32,3	145,6	17,2
74	5	3	1	Nein	65,2	38,9	192,8	21,6
75	5	3	2	Nein	81,4	44,3	240,1	25,6
76	5	3	3	Nein	97,6	48,8	287,3	29,1
79	5	4	0	Nein	65,2	38,9	192,8	21,6
80	5	4	1	Nein	81,4	44,3	240,1	25,6
81	5	4	2	Nein	97,6	48,8	287,3	29,1
82	5	4	3	Nein	113,9	52,6	334,6	32,4
83	5	4	4	Nein	130,1	55,9	381,8	35,3
85	5	5	0	Nein	81,4	44,3	240,1	25,6
86	5	5	1	Nein	97,6	48,8	287,3	29,1
87	5	5	2	Nein	113,9	52,6	334,6	32,4
88	5	5	3	Nein	130,1	55,9	381,8	35,3
89	5	5	4	Nein	146,4	58,8	429,1	38,0
90	5	5	5	Nein	162,6	61,3	476,4	40,5

Anhang Ö-E-MW

Kombination Nr. [I]	m [I]	Schotte durchnässt [I]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
91	6	0	0	Nein	0,2	0,2	5,3	0,6
98	6	1	0	Nein	16,5	11,8	52,7	5,9
99	6	1	1	Nein	32,7	21,0	100,1	10,7
105	6	2	0	Nein	32,7	21,0	100,1	10,7
106	6	2	1	Nein	49,0	28,5	147,5	14,9
107	6	2	2	Nein	65,3	34,7	194,8	18,8
112	6	3	0	Nein	49,0	28,5	147,5	14,9
113	6	3	1	Nein	65,3	34,7	194,8	18,8
114	6	3	2	Nein	81,5	39,8	242,2	22,4
115	6	3	3	Nein	97,8	44,3	289,6	25,7
119	6	4	0	Nein	65,3	34,7	194,8	18,8
120	6	4	1	Nein	81,5	39,8	242,2	22,4
121	6	4	2	Nein	97,8	44,3	289,6	25,7
122	6	4	3	Nein	114,0	48,1	337,0	28,7
123	6	4	4	Nein	130,3	51,4	384,4	31,4
126	6	5	0	Nein	81,5	39,8	242,2	22,4
127	6	5	1	Nein	97,8	44,3	289,6	25,7
128	6	5	2	Nein	114,0	48,1	337,0	28,7
129	6	5	3	Nein	130,3	51,4	384,4	31,4
130	6	5	4	Nein	146,5	54,4	431,8	34,0
131	6	5	5	Nein	162,8	57,0	479,1	36,3
133	6	6	0	Nein	97,8	44,3	289,6	25,7
134	6	6	1	Nein	114,0	48,1	337,0	28,7
135	6	6	2	Nein	130,3	51,4	384,4	31,4
136	6	6	3	Nein	146,5	54,4	431,8	34,0
137	6	6	4	Nein	162,8	57,0	479,1	36,3
138	6	6	5	Nein	179,0	59,3	526,5	38,6
139	6	6	6	Nein	195,3	61,3	573,9	40,6
140	7	0	0	Nein	0,3	0,2	6,1	0,6
148	7	1	0	Nein	16,5	10,3	53,4	5,2
149	7	1	1	Nein	32,8	18,6	100,8	9,3
156	7	2	0	Nein	32,8	18,6	100,8	9,3
157	7	2	1	Nein	49,0	25,5	148,2	13,1
158	7	2	2	Nein	65,3	31,3	195,5	16,6
164	7	3	0	Nein	49,0	25,5	148,2	13,1
165	7	3	1	Nein	65,3	31,3	195,5	16,6
166	7	3	2	Nein	81,5	36,2	242,9	19,9
167	7	3	3	Nein	97,8	40,5	290,3	22,9
172	7	4	0	Nein	65,3	31,3	195,5	16,6
173	7	4	1	Nein	81,5	36,2	242,9	19,9
174	7	4	2	Nein	97,8	40,5	290,3	22,9
175	7	4	3	Nein	114,0	44,3	337,6	25,6
176	7	4	4	Nein	130,3	47,6	385,0	28,2
180	7	5	0	Nein	81,5	36,2	242,9	19,9
181	7	5	1	Nein	97,8	40,5	290,3	22,9
182	7	5	2	Nein	114,0	44,3	337,6	25,6
183	7	5	3	Nein	130,3	47,6	385,0	28,2
184	7	5	4	Nein	146,5	50,5	432,4	30,6
185	7	5	5	Nein	162,8	53,1	479,7	32,9
188	7	6	0	Nein	97,8	40,5	290,3	22,9
189	7	6	1	Nein	114,0	44,3	337,6	25,6
190	7	6	2	Nein	130,3	47,6	385,0	28,2
191	7	6	3	Nein	146,5	50,5	432,4	30,6
192	7	6	4	Nein	162,8	53,1	479,7	32,9
193	7	6	5	Nein	179,0	55,5	527,1	35,0
194	7	6	6	Nein	195,3	57,6	574,5	37,0
196	7	7	0	Nein	114,0	44,3	337,6	25,6
197	7	7	1	Nein	130,3	47,6	385,0	28,2

Anhang Ö-E-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
198	7	7	2	Nein	146,5	50,5	432,4	30,6
199	7	7	3	Nein	162,8	53,1	479,7	32,9
200	7	7	4	Nein	179,0	55,5	527,1	35,0
201	7	7	5	Nein	195,3	57,6	574,5	37,0
202	7	7	6	Nein	211,5	59,6	621,8	38,8
203	7	7	7	Nein	227,8	61,3	669,2	40,6
204	8	0	0	Nein	0,3	0,2	7,6	0,7
213	8	1	0	Nein	16,6	9,2	55,0	4,7
214	8	1	1	Nein	32,9	16,7	102,5	8,4
222	8	2	0	Nein	32,9	16,7	102,5	8,4
223	8	2	1	Nein	49,1	23,0	149,9	11,8
224	8	2	2	Nein	65,4	28,5	197,4	15,0
231	8	3	0	Nein	49,1	23,0	149,9	11,8
232	8	3	1	Nein	65,4	28,5	197,4	15,0
233	8	3	2	Nein	81,6	33,2	244,8	18,0
234	8	3	3	Nein	97,9	37,4	292,3	20,7
240	8	4	0	Nein	65,4	28,5	197,4	15,0
241	8	4	1	Nein	81,6	33,2	244,8	18,0
242	8	4	2	Nein	97,9	37,4	292,3	20,7
243	8	4	3	Nein	114,1	41,0	339,7	23,3
244	8	4	4	Nein	130,4	44,3	387,2	25,7
249	8	5	0	Nein	81,6	33,2	244,8	18,0
250	8	5	1	Nein	97,9	37,4	292,3	20,7
251	8	5	2	Nein	114,1	41,0	339,7	23,3
252	8	5	3	Nein	130,4	44,3	387,2	25,7
253	8	5	4	Nein	146,6	47,2	434,6	28,0
254	8	5	5	Nein	162,9	49,8	482,1	30,1
258	8	6	0	Nein	97,9	37,4	292,3	20,7
259	8	6	1	Nein	114,1	41,0	339,7	23,3
260	8	6	2	Nein	130,4	44,3	387,2	25,7
261	8	6	3	Nein	146,6	47,2	434,6	28,0
262	8	6	4	Nein	162,9	49,8	482,1	30,1
263	8	6	5	Nein	179,1	52,2	529,5	32,1
264	8	6	6	Nein	195,4	54,4	576,9	34,0
267	8	7	0	Nein	114,1	41,0	339,7	23,3
268	8	7	1	Nein	130,4	44,3	387,2	25,7
269	8	7	2	Nein	146,6	47,2	434,6	28,0
270	8	7	3	Nein	162,9	49,8	482,1	30,1
271	8	7	4	Nein	179,1	52,2	529,5	32,1
272	8	7	5	Nein	195,4	54,4	576,9	34,0
273	8	7	6	Nein	211,7	56,3	624,4	35,8
274	8	7	7	Nein	227,9	58,1	671,8	37,5
276	8	8	0	Nein	130,4	44,3	387,2	25,7
277	8	8	1	Nein	146,6	47,2	434,6	28,0
278	8	8	2	Nein	162,9	49,8	482,1	30,1
279	8	8	3	Nein	179,1	52,2	529,5	32,1
280	8	8	4	Nein	195,4	54,4	576,9	34,0
281	8	8	5	Nein	211,7	56,3	624,4	35,8
282	8	8	6	Nein	227,9	58,1	671,8	37,5
283	8	8	7	Nein	244,2	59,8	719,3	39,1
284	8	8	8	Nein	260,4	61,4	766,7	40,7
285	9	0	0	Nein	0,4	0,2	8,4	0,7
295	9	1	0	Nein	16,6	8,3	55,8	4,2
296	9	1	1	Nein	32,9	15,1	103,2	7,6
305	9	2	0	Nein	32,9	15,1	103,2	7,6
306	9	2	1	Nein	49,1	21,0	150,6	10,7
307	9	2	2	Nein	65,4	26,2	198,1	13,6
315	9	3	0	Nein	49,1	21,0	150,6	10,7

Anhang Ö-E-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
316	9	3	1	Nein	65,4	26,2	198,1	13,6
317	9	3	2	Nein	81,7	30,7	245,5	16,3
318	9	3	3	Nein	97,9	34,7	292,9	18,9
325	9	4	0	Nein	65,4	26,2	198,1	13,6
326	9	4	1	Nein	81,7	30,7	245,5	16,3
327	9	4	2	Nein	97,9	34,7	292,9	18,9
328	9	4	3	Nein	114,2	38,2	340,3	21,3
329	9	4	4	Nein	130,4	41,4	387,8	23,5
335	9	5	0	Nein	81,7	30,7	245,5	16,3
336	9	5	1	Nein	97,9	34,7	292,9	18,9
337	9	5	2	Nein	114,2	38,2	340,3	21,3
338	9	5	3	Nein	130,4	41,4	387,8	23,5
339	9	5	4	Nein	146,7	44,3	435,2	25,7
340	9	5	5	Nein	162,9	46,9	482,6	27,7
345	9	6	0	Nein	97,9	34,7	292,9	18,9
346	9	6	1	Nein	114,2	38,2	340,3	21,3
347	9	6	2	Nein	130,4	41,4	387,8	23,5
348	9	6	3	Nein	146,7	44,3	435,2	25,7
349	9	6	4	Nein	162,9	46,9	482,6	27,7
350	9	6	5	Nein	179,2	49,3	530,0	29,6
351	9	6	6	Nein	195,4	51,4	577,5	31,4
355	9	7	0	Nein	114,2	38,2	340,3	21,3
356	9	7	1	Nein	130,4	41,4	387,8	23,5
357	9	7	2	Nein	146,7	44,3	435,2	25,7
358	9	7	3	Nein	162,9	46,9	482,6	27,7
359	9	7	4	Nein	179,2	49,3	530,0	29,6
360	9	7	5	Nein	195,4	51,4	577,5	31,4
361	9	7	6	Nein	211,7	53,4	624,9	33,2
362	9	7	7	Nein	227,9	55,3	672,3	34,8
365	9	8	0	Nein	130,4	41,4	387,8	23,5
366	9	8	1	Nein	146,7	44,3	435,2	25,7
367	9	8	2	Nein	162,9	46,9	482,6	27,7
368	9	8	3	Nein	179,2	49,3	530,0	29,6
369	9	8	4	Nein	195,4	51,4	577,5	31,4
370	9	8	5	Nein	211,7	53,4	624,9	33,2
371	9	8	6	Nein	227,9	55,3	672,3	34,8
372	9	8	7	Nein	244,2	57,0	719,7	36,4
373	9	8	8	Nein	260,4	58,5	767,2	37,9
375	9	9	0	Nein	146,7	44,3	435,2	25,7
376	9	9	1	Nein	162,9	46,9	482,6	27,7
377	9	9	2	Nein	179,2	49,3	530,0	29,6
378	9	9	3	Nein	195,4	51,4	577,5	31,4
379	9	9	4	Nein	211,7	53,4	624,9	33,2
380	9	9	5	Nein	227,9	55,3	672,3	34,8
381	9	9	6	Nein	244,2	57,0	719,7	36,4
382	9	9	7	Nein	260,4	58,5	767,2	37,9
383	9	9	8	Nein	276,7	60,0	814,6	39,3
384	9	9	9	Nein	292,9	61,4	862,0	40,6
385	10	0	0	Nein	0,4	0,2	9,1	0,6
396	10	1	0	Nein	16,7	7,5	56,5	3,9
397	10	1	1	Nein	32,9	13,8	103,9	6,9
407	10	2	0	Nein	32,9	13,8	103,9	6,9
408	10	2	1	Nein	49,2	19,3	151,3	9,8
409	10	2	2	Nein	65,4	24,2	198,7	12,4
418	10	3	0	Nein	49,2	19,3	151,3	9,8
419	10	3	1	Nein	65,4	24,2	198,7	12,4
420	10	3	2	Nein	81,7	28,5	246,2	15,0
421	10	3	3	Nein	97,9	32,3	293,6	17,3

Anhang Ö-E-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
429	10	4	0	Nein	65,4	24,2	198,7	12,4
430	10	4	1	Nein	81,7	28,5	246,2	15,0
431	10	4	2	Nein	97,9	32,3	293,6	17,3
432	10	4	3	Nein	114,2	35,8	341,0	19,6
433	10	4	4	Nein	130,4	38,9	388,4	21,7
440	10	5	0	Nein	81,7	28,5	246,2	15,0
441	10	5	1	Nein	97,9	32,3	293,6	17,3
442	10	5	2	Nein	114,2	35,8	341,0	19,6
443	10	5	3	Nein	130,4	38,9	388,4	21,7
444	10	5	4	Nein	146,7	41,7	435,8	23,8
445	10	5	5	Nein	162,9	44,3	483,2	25,7
451	10	6	0	Nein	97,9	32,3	293,6	17,3
452	10	6	1	Nein	114,2	35,8	341,0	19,6
453	10	6	2	Nein	130,4	38,9	388,4	21,7
454	10	6	3	Nein	146,7	41,7	435,8	23,8
455	10	6	4	Nein	162,9	44,3	483,2	25,7
456	10	6	5	Nein	179,2	46,6	530,6	27,5
457	10	6	6	Nein	195,5	48,8	578,0	29,2
462	10	7	0	Nein	114,2	35,8	341,0	19,6
463	10	7	1	Nein	130,4	38,9	388,4	21,7
464	10	7	2	Nein	146,7	41,7	435,8	23,8
465	10	7	3	Nein	162,9	44,3	483,2	25,7
466	10	7	4	Nein	179,2	46,6	530,6	27,5
467	10	7	5	Nein	195,5	48,8	578,0	29,2
468	10	7	6	Nein	211,7	50,8	625,4	30,9
469	10	7	7	Nein	228,0	52,6	672,8	32,5
473	10	8	0	Nein	130,4	38,9	388,4	21,7
474	10	8	1	Nein	146,7	41,7	435,8	23,8
475	10	8	2	Nein	162,9	44,3	483,2	25,7
476	10	8	3	Nein	179,2	46,6	530,6	27,5
477	10	8	4	Nein	195,5	48,8	578,0	29,2
478	10	8	5	Nein	211,7	50,8	625,4	30,9
479	10	8	6	Nein	228,0	52,6	672,8	32,5
480	10	8	7	Nein	244,2	54,4	720,2	34,0
481	10	8	8	Nein	260,5	56,0	767,6	35,4
484	10	9	0	Nein	146,7	41,7	435,8	23,8
485	10	9	1	Nein	162,9	44,3	483,2	25,7
486	10	9	2	Nein	179,2	46,6	530,6	27,5
487	10	9	3	Nein	195,5	48,8	578,0	29,2
488	10	9	4	Nein	211,7	50,8	625,4	30,9
489	10	9	5	Nein	228,0	52,6	672,8	32,5
490	10	9	6	Nein	244,2	54,4	720,2	34,0
491	10	9	7	Nein	260,5	56,0	767,6	35,4
492	10	9	8	Nein	276,7	57,4	815,0	36,8
493	10	9	9	Nein	293,0	58,8	862,5	38,1
495	10	10	0	Nein	162,9	44,3	483,2	25,7
496	10	10	1	Nein	179,2	46,6	530,6	27,5
497	10	10	2	Nein	195,5	48,8	578,0	29,2
498	10	10	3	Nein	211,7	50,8	625,4	30,9
499	10	10	4	Nein	228,0	52,6	672,8	32,5
500	10	10	5	Nein	244,2	54,4	720,2	34,0
501	10	10	6	Nein	260,5	56,0	767,6	35,4
502	10	10	7	Nein	276,7	57,4	815,0	36,8
503	10	10	8	Nein	293,0	58,8	862,5	38,1
504	10	10	9	Nein	309,2	60,1	909,9	39,4
505	10	10	10	Nein	325,5	61,4	957,3	40,6

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchtemonitoring: Anhang Ö-F-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n. e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
1	1	0	0	Ja	0,0	0,0	0,0	0,0
3	1	1	0	Ja	6,1	25,0	22,3	11,1
4	1	1	1	Ja	12,2	40,0	44,6	20,0
5	2	0	0	Ja	0,1	0,2	1,5	0,4
8	2	1	0	Ja	6,2	14,4	24,2	6,4
9	2	1	1	Ja	12,3	25,1	46,9	11,6
11	2	2	0	Ja	12,3	25,1	46,9	11,6
12	2	2	1	Ja	18,4	33,5	69,6	16,3
13	2	2	2	Ja	24,6	40,1	92,3	20,6
14	3	0	0	Ja	0,1	0,3	3,0	0,6
18	3	1	0	Ja	6,3	10,2	25,8	4,6
19	3	1	1	Ja	12,4	18,4	48,7	8,4
22	3	2	0	Ja	12,4	18,4	48,7	8,4
23	3	2	1	Ja	18,5	25,2	71,5	11,8
24	3	2	2	Ja	24,7	30,9	94,3	15,0
26	3	3	0	Ja	18,5	25,2	71,5	11,8
27	3	3	1	Ja	24,7	30,9	94,3	15,0
28	3	3	2	Ja	30,8	35,9	117,1	18,0
29	3	3	3	Ja	36,9	40,1	139,9	20,8
30	4	0	0	Ja	0,3	0,4	6,1	0,8
35	4	1	0	Ja	6,4	8,0	29,1	3,9
36	4	1	1	Ja	12,6	14,6	52,2	6,8
40	4	2	0	Ja	12,6	14,6	52,2	6,8
41	4	2	1	Ja	18,7	20,3	75,3	9,6
42	4	2	2	Ja	24,9	25,3	98,3	12,1
45	4	3	0	Ja	18,7	20,3	75,3	9,6
46	4	3	1	Ja	24,9	25,3	98,3	12,1
47	4	3	2	Ja	31,0	29,7	121,4	14,6
48	4	3	3	Ja	37,1	33,6	144,5	16,9
50	4	4	0	Ja	24,9	25,3	98,3	12,1
51	4	4	1	Ja	31,0	29,7	121,4	14,6
52	4	4	2	Ja	37,1	33,6	144,5	16,9
53	4	4	3	Ja	43,3	37,1	167,5	19,0
54	4	4	4	Ja	49,4	40,2	190,6	21,1
55	5	0	0	Ja	0,3	0,4	7,6	0,8
61	5	1	0	Ja	6,5	6,6	30,7	3,3
62	5	1	1	Ja	12,6	12,1	53,7	5,7
67	5	2	0	Ja	12,6	12,1	53,7	5,7
68	5	2	1	Ja	18,8	17,0	76,8	7,9
69	5	2	2	Ja	24,9	21,4	99,9	10,1
73	5	3	0	Ja	18,8	17,0	76,8	7,9
74	5	3	1	Ja	24,9	21,4	99,9	10,1
75	5	3	2	Ja	31,1	25,3	122,9	12,1
76	5	3	3	Ja	37,2	28,9	146,0	14,1
79	5	4	0	Ja	24,9	21,4	99,9	10,1
80	5	4	1	Ja	31,1	25,3	122,9	12,1
81	5	4	2	Ja	37,2	28,9	146,0	14,1
82	5	4	3	Ja	43,3	32,1	169,0	16,0
83	5	4	4	Ja	49,5	35,0	192,1	17,8
85	5	5	0	Ja	31,1	25,3	122,9	12,1
86	5	5	1	Ja	37,2	28,9	146,0	14,1
87	5	5	2	Ja	43,3	32,1	169,0	16,0
88	5	5	3	Ja	49,5	35,0	192,1	17,8
89	5	5	4	Ja	55,6	37,7	215,2	19,5
90	5	5	5	Ja	61,8	40,2	238,2	21,1

Anhang Ö-F-EPS

Kombination Nr. [I]	m [I]	Schotte durchnässt [I]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
91	6	0	0	Ja	0,5	0,4	10,6	1,0
98	6	1	0	Ja	6,6	5,7	33,8	3,1
99	6	1	1	Ja	12,8	10,4	57,0	5,1
105	6	2	0	Ja	12,8	10,4	57,0	5,1
106	6	2	1	Ja	18,9	14,7	80,2	7,0
107	6	2	2	Ja	25,1	18,6	103,4	8,8
112	6	3	0	Ja	18,9	14,7	80,2	7,0
113	6	3	1	Ja	25,1	18,6	103,4	8,8
114	6	3	2	Ja	31,2	22,1	126,6	10,6
115	6	3	3	Ja	37,4	25,3	149,8	12,3
119	6	4	0	Ja	25,1	18,6	103,4	8,8
120	6	4	1	Ja	31,2	22,1	126,6	10,6
121	6	4	2	Ja	37,4	25,3	149,8	12,3
122	6	4	3	Ja	43,5	28,3	173,0	13,9
123	6	4	4	Ja	49,7	31,1	196,2	15,5
126	6	5	0	Ja	31,2	22,1	126,6	10,6
127	6	5	1	Ja	37,4	25,3	149,8	12,3
128	6	5	2	Ja	43,5	28,3	173,0	13,9
129	6	5	3	Ja	49,7	31,1	196,2	15,5
130	6	5	4	Ja	55,8	33,6	219,4	17,0
131	6	5	5	Ja	62,0	36,0	242,5	18,5
133	6	6	0	Ja	37,4	25,3	149,8	12,3
134	6	6	1	Ja	43,5	28,3	173,0	13,9
135	6	6	2	Ja	49,7	31,1	196,2	15,5
136	6	6	3	Ja	55,8	33,6	219,4	17,0
137	6	6	4	Ja	62,0	36,0	242,5	18,5
138	6	6	5	Ja	68,1	38,2	265,7	19,9
139	6	6	6	Ja	74,3	40,3	288,9	21,3
140	7	0	0	Ja	0,6	0,4	12,1	1,0
148	7	1	0	Ja	6,7	5,0	35,3	2,8
149	7	1	1	Ja	12,9	9,1	58,5	4,5
156	7	2	0	Ja	12,9	9,1	58,5	4,5
157	7	2	1	Ja	19,0	12,9	81,7	6,2
158	7	2	2	Ja	25,2	16,4	104,8	7,8
164	7	3	0	Ja	19,0	12,9	81,7	6,2
165	7	3	1	Ja	25,2	16,4	104,8	7,8
166	7	3	2	Ja	31,3	19,6	128,0	9,3
167	7	3	3	Ja	37,4	22,6	151,2	10,8
172	7	4	0	Ja	25,2	16,4	104,8	7,8
173	7	4	1	Ja	31,3	19,6	128,0	9,3
174	7	4	2	Ja	37,4	22,6	151,2	10,8
175	7	4	3	Ja	43,6	25,3	174,4	12,3
176	7	4	4	Ja	49,7	27,9	197,5	13,7
180	7	5	0	Ja	31,3	19,6	128,0	9,3
181	7	5	1	Ja	37,4	22,6	151,2	10,8
182	7	5	2	Ja	43,6	25,3	174,4	12,3
183	7	5	3	Ja	49,7	27,9	197,5	13,7
184	7	5	4	Ja	55,9	30,3	220,7	15,0
185	7	5	5	Ja	62,0	32,6	243,9	16,4
188	7	6	0	Ja	37,4	22,6	151,2	10,8
189	7	6	1	Ja	43,6	25,3	174,4	12,3
190	7	6	2	Ja	49,7	27,9	197,5	13,7
191	7	6	3	Ja	55,9	30,3	220,7	15,0
192	7	6	4	Ja	62,0	32,6	243,9	16,4
193	7	6	5	Ja	68,2	34,7	267,1	17,6
194	7	6	6	Ja	74,3	36,7	290,2	18,9
196	7	7	0	Ja	43,6	25,3	174,4	12,3
197	7	7	1	Ja	49,7	27,9	197,5	13,7

Anhang Ö-F-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
198	7	7	2	Ja	55,9	30,3	220,7	15,0
199	7	7	3	Ja	62,0	32,6	243,9	16,4
200	7	7	4	Ja	68,2	34,7	267,1	17,6
201	7	7	5	Ja	74,3	36,7	290,2	18,9
202	7	7	6	Ja	80,5	38,5	313,4	20,1
203	7	7	7	Ja	86,6	40,3	336,6	21,3
204	8	0	0	Ja	0,7	0,5	15,2	1,1
213	8	1	0	Ja	6,8	4,5	38,4	2,6
214	8	1	1	Ja	13,0	8,1	61,7	4,2
222	8	2	0	Ja	13,0	8,1	61,7	4,2
223	8	2	1	Ja	19,2	11,5	85,0	5,6
224	8	2	2	Ja	25,3	14,7	108,2	7,1
231	8	3	0	Ja	19,2	11,5	85,0	5,6
232	8	3	1	Ja	25,3	14,7	108,2	7,1
233	8	3	2	Ja	31,5	17,6	131,5	8,5
234	8	3	3	Ja	37,6	20,4	154,7	9,8
240	8	4	0	Ja	25,3	14,7	108,2	7,1
241	8	4	1	Ja	31,5	17,6	131,5	8,5
242	8	4	2	Ja	37,6	20,4	154,7	9,8
243	8	4	3	Ja	43,8	23,0	178,0	11,1
244	8	4	4	Ja	49,9	25,4	201,2	12,4
249	8	5	0	Ja	31,5	17,6	131,5	8,5
250	8	5	1	Ja	37,6	20,4	154,7	9,8
251	8	5	2	Ja	43,8	23,0	178,0	11,1
252	8	5	3	Ja	49,9	25,4	201,2	12,4
253	8	5	4	Ja	56,1	27,6	224,5	13,6
254	8	5	5	Ja	62,2	29,8	247,7	14,8
258	8	6	0	Ja	37,6	20,4	154,7	9,8
259	8	6	1	Ja	43,8	23,0	178,0	11,1
260	8	6	2	Ja	49,9	25,4	201,2	12,4
261	8	6	3	Ja	56,1	27,6	224,5	13,6
262	8	6	4	Ja	62,2	29,8	247,7	14,8
263	8	6	5	Ja	68,4	31,8	271,0	16,0
264	8	6	6	Ja	74,5	33,7	294,2	17,1
267	8	7	0	Ja	43,8	23,0	178,0	11,1
268	8	7	1	Ja	49,9	25,4	201,2	12,4
269	8	7	2	Ja	56,1	27,6	224,5	13,6
270	8	7	3	Ja	62,2	29,8	247,7	14,8
271	8	7	4	Ja	68,4	31,8	271,0	16,0
272	8	7	5	Ja	74,5	33,7	294,2	17,1
273	8	7	6	Ja	80,7	35,5	317,5	18,2
274	8	7	7	Ja	86,8	37,2	340,8	19,3
276	8	8	0	Ja	49,9	25,4	201,2	12,4
277	8	8	1	Ja	56,1	27,6	224,5	13,6
278	8	8	2	Ja	62,2	29,8	247,7	14,8
279	8	8	3	Ja	68,4	31,8	271,0	16,0
280	8	8	4	Ja	74,5	33,7	294,2	17,1
281	8	8	5	Ja	80,7	35,5	317,5	18,2
282	8	8	6	Ja	86,8	37,2	340,8	19,3
283	8	8	7	Ja	93,0	38,8	364,0	20,4
284	8	8	8	Ja	99,1	40,3	387,3	21,4
285	9	0	0	Ja	0,8	0,5	16,7	1,0
295	9	1	0	Ja	6,9	4,0	39,9	2,4
296	9	1	1	Ja	13,1	7,3	63,2	3,8
305	9	2	0	Ja	13,1	7,3	63,2	3,8
306	9	2	1	Ja	19,2	10,4	86,4	5,1
307	9	2	2	Ja	25,4	13,3	109,6	6,4
315	9	3	0	Ja	19,2	10,4	86,4	5,1

Anhang Ö-F-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
316	9	3	1	Ja	25,4	13,3	109,6	6,4
317	9	3	2	Ja	31,5	16,0	132,9	7,7
318	9	3	3	Ja	37,7	18,6	156,1	8,9
325	9	4	0	Ja	25,4	13,3	109,6	6,4
326	9	4	1	Ja	31,5	16,0	132,9	7,7
327	9	4	2	Ja	37,7	18,6	156,1	8,9
328	9	4	3	Ja	43,8	21,0	179,3	10,1
329	9	4	4	Ja	50,0	23,2	202,6	11,2
335	9	5	0	Ja	31,5	16,0	132,9	7,7
336	9	5	1	Ja	37,7	18,6	156,1	8,9
337	9	5	2	Ja	43,8	21,0	179,3	10,1
338	9	5	3	Ja	50,0	23,2	202,6	11,2
339	9	5	4	Ja	56,1	25,4	225,8	12,4
340	9	5	5	Ja	62,3	27,4	249,0	13,5
345	9	6	0	Ja	37,7	18,6	156,1	8,9
346	9	6	1	Ja	43,8	21,0	179,3	10,1
347	9	6	2	Ja	50,0	23,2	202,6	11,2
348	9	6	3	Ja	56,1	25,4	225,8	12,4
349	9	6	4	Ja	62,3	27,4	249,0	13,5
350	9	6	5	Ja	68,4	29,3	272,3	14,5
351	9	6	6	Ja	74,6	31,1	295,5	15,6
355	9	7	0	Ja	43,8	21,0	179,3	10,1
356	9	7	1	Ja	50,0	23,2	202,6	11,2
357	9	7	2	Ja	56,1	25,4	225,8	12,4
358	9	7	3	Ja	62,3	27,4	249,0	13,5
359	9	7	4	Ja	68,4	29,3	272,3	14,5
360	9	7	5	Ja	74,6	31,1	295,5	15,6
361	9	7	6	Ja	80,7	32,8	318,7	16,6
362	9	7	7	Ja	86,9	34,5	342,0	17,6
365	9	8	0	Ja	50,0	23,2	202,6	11,2
366	9	8	1	Ja	56,1	25,4	225,8	12,4
367	9	8	2	Ja	62,3	27,4	249,0	13,5
368	9	8	3	Ja	68,4	29,3	272,3	14,5
369	9	8	4	Ja	74,6	31,1	295,5	15,6
370	9	8	5	Ja	80,7	32,8	318,7	16,6
371	9	8	6	Ja	86,9	34,5	342,0	17,6
372	9	8	7	Ja	93,0	36,0	365,2	18,6
373	9	8	8	Ja	99,2	37,5	388,4	19,5
375	9	9	0	Ja	56,1	25,4	225,8	12,4
376	9	9	1	Ja	62,3	27,4	249,0	13,5
377	9	9	2	Ja	68,4	29,3	272,3	14,5
378	9	9	3	Ja	74,6	31,1	295,5	15,6
379	9	9	4	Ja	80,7	32,8	318,7	16,6
380	9	9	5	Ja	86,9	34,5	342,0	17,6
381	9	9	6	Ja	93,0	36,0	365,2	18,6
382	9	9	7	Ja	99,2	37,5	388,4	19,5
383	9	9	8	Ja	105,3	38,9	411,7	20,4
384	9	9	9	Ja	111,5	40,3	434,9	21,4
385	10	0	0	Ja	0,8	0,5	18,2	1,0
396	10	1	0	Ja	7,0	3,7	41,4	2,3
397	10	1	1	Ja	13,1	6,7	64,7	3,5
407	10	2	0	Ja	13,1	6,7	64,7	3,5
408	10	2	1	Ja	19,3	9,5	87,9	4,7
409	10	2	2	Ja	25,4	12,2	111,1	5,9
418	10	3	0	Ja	19,3	9,5	87,9	4,7
419	10	3	1	Ja	25,4	12,2	111,1	5,9
420	10	3	2	Ja	31,6	14,7	134,3	7,0
421	10	3	3	Ja	37,7	17,1	157,5	8,1

Anhang Ö-F-EPS

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
429	10	4	0	Ja	25,4	12,2	111,1	5,9
430	10	4	1	Ja	31,6	14,7	134,3	7,0
431	10	4	2	Ja	37,7	17,1	157,5	8,1
432	10	4	3	Ja	43,9	19,3	180,7	9,2
433	10	4	4	Ja	50,0	21,4	204,0	10,3
440	10	5	0	Ja	31,6	14,7	134,3	7,0
441	10	5	1	Ja	37,7	17,1	157,5	8,1
442	10	5	2	Ja	43,9	19,3	180,7	9,2
443	10	5	3	Ja	50,0	21,4	204,0	10,3
444	10	5	4	Ja	56,2	23,4	227,2	11,3
445	10	5	5	Ja	62,3	25,4	250,4	12,3
451	10	6	0	Ja	37,7	17,1	157,5	8,1
452	10	6	1	Ja	43,9	19,3	180,7	9,2
453	10	6	2	Ja	50,0	21,4	204,0	10,3
454	10	6	3	Ja	56,2	23,4	227,2	11,3
455	10	6	4	Ja	62,3	25,4	250,4	12,3
456	10	6	5	Ja	68,5	27,2	273,6	13,3
457	10	6	6	Ja	74,6	28,9	296,8	14,3
462	10	7	0	Ja	43,9	19,3	180,7	9,2
463	10	7	1	Ja	50,0	21,4	204,0	10,3
464	10	7	2	Ja	56,2	23,4	227,2	11,3
465	10	7	3	Ja	62,3	25,4	250,4	12,3
466	10	7	4	Ja	68,5	27,2	273,6	13,3
467	10	7	5	Ja	74,6	28,9	296,8	14,3
468	10	7	6	Ja	80,8	30,6	320,0	15,2
469	10	7	7	Ja	86,9	32,1	343,3	16,2
473	10	8	0	Ja	50,0	21,4	204,0	10,3
474	10	8	1	Ja	56,2	23,4	227,2	11,3
475	10	8	2	Ja	62,3	25,4	250,4	12,3
476	10	8	3	Ja	68,5	27,2	273,6	13,3
477	10	8	4	Ja	74,6	28,9	296,8	14,3
478	10	8	5	Ja	80,8	30,6	320,0	15,2
479	10	8	6	Ja	86,9	32,1	343,3	16,2
480	10	8	7	Ja	93,1	33,7	366,5	17,1
481	10	8	8	Ja	99,2	35,1	389,7	18,0
484	10	9	0	Ja	56,2	23,4	227,2	11,3
485	10	9	1	Ja	62,3	25,4	250,4	12,3
486	10	9	2	Ja	68,5	27,2	273,6	13,3
487	10	9	3	Ja	74,6	28,9	296,8	14,3
488	10	9	4	Ja	80,8	30,6	320,0	15,2
489	10	9	5	Ja	86,9	32,1	343,3	16,2
490	10	9	6	Ja	93,1	33,7	366,5	17,1
491	10	9	7	Ja	99,2	35,1	389,7	18,0
492	10	9	8	Ja	105,4	36,5	412,9	18,8
493	10	9	9	Ja	111,5	37,8	436,1	19,7
495	10	10	0	Ja	62,3	25,4	250,4	12,3
496	10	10	1	Ja	68,5	27,2	273,6	13,3
497	10	10	2	Ja	74,6	28,9	296,8	14,3
498	10	10	3	Ja	80,8	30,6	320,0	15,2
499	10	10	4	Ja	86,9	32,1	343,3	16,2
500	10	10	5	Ja	93,1	33,7	366,5	17,1
501	10	10	6	Ja	99,2	35,1	389,7	18,0
502	10	10	7	Ja	105,4	36,5	412,9	18,8
503	10	10	8	Ja	111,5	37,8	436,1	19,7
504	10	10	9	Ja	117,7	39,1	459,3	20,5
505	10	10	10	Ja	123,8	40,3	482,6	21,3

Ökonomischer und ökologischer Vergleich von Flachdächern mit und ohne Feuchtemonitoring: Anhang Ö-F-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n. e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
1	1	0	0	Ja	0,0	0,0	0,0	0,0
3	1	1	0	Ja	16,2	29,6	46,5	17,0
4	1	1	1	Ja	32,4	45,7	93,0	29,1
5	2	0	0	Ja	0,1	0,1	1,5	0,3
8	2	1	0	Ja	16,3	17,4	48,4	9,7
9	2	1	1	Ja	32,5	29,7	95,3	17,4
11	2	2	0	Ja	32,5	29,7	95,3	17,4
12	2	2	1	Ja	48,8	38,7	142,1	23,9
13	2	2	2	Ja	65,0	45,7	189,0	29,5
14	3	0	0	Ja	0,1	0,1	3,0	0,4
18	3	1	0	Ja	16,4	12,4	50,0	6,9
19	3	1	1	Ja	32,6	22,0	97,0	12,5
22	3	2	0	Ja	32,6	22,0	97,0	12,5
23	3	2	1	Ja	48,8	29,7	144,0	17,5
24	3	2	2	Ja	65,1	36,0	191,0	22,0
26	3	3	0	Ja	48,8	29,7	144,0	17,5
27	3	3	1	Ja	65,1	36,0	191,0	22,0
28	3	3	2	Ja	81,3	41,3	238,1	26,0
29	3	3	3	Ja	97,5	45,8	285,1	29,6
30	4	0	0	Ja	0,3	0,2	6,1	0,7
35	4	1	0	Ja	16,5	9,7	53,3	5,6
36	4	1	1	Ja	32,8	17,5	100,6	10,0
40	4	2	0	Ja	32,8	17,5	100,6	10,0
41	4	2	1	Ja	49,0	24,1	147,8	14,0
42	4	2	2	Ja	65,3	29,7	195,1	17,7
45	4	3	0	Ja	49,0	24,1	147,8	14,0
46	4	3	1	Ja	65,3	29,7	195,1	17,7
47	4	3	2	Ja	81,5	34,6	242,4	21,1
48	4	3	3	Ja	97,8	38,8	289,6	24,2
50	4	4	0	Ja	65,3	29,7	195,1	17,7
51	4	4	1	Ja	81,5	34,6	242,4	21,1
52	4	4	2	Ja	97,8	38,8	289,6	24,2
53	4	4	3	Ja	114,0	42,5	336,9	27,1
54	4	4	4	Ja	130,2	45,8	384,1	29,8
55	5	0	0	Ja	0,3	0,2	7,6	0,7
61	5	1	0	Ja	16,6	7,9	54,8	4,6
62	5	1	1	Ja	32,8	14,6	102,1	8,3
67	5	2	0	Ja	32,8	14,6	102,1	8,3
68	5	2	1	Ja	49,1	20,3	149,4	11,7
69	5	2	2	Ja	65,3	25,3	196,6	14,8
73	5	3	0	Ja	49,1	20,3	149,4	11,7
74	5	3	1	Ja	65,3	25,3	196,6	14,8
75	5	3	2	Ja	81,6	29,7	243,9	17,7
76	5	3	3	Ja	97,8	33,7	291,1	20,5
79	5	4	0	Ja	65,3	25,3	196,6	14,8
80	5	4	1	Ja	81,6	29,7	243,9	17,7
81	5	4	2	Ja	97,8	33,7	291,1	20,5
82	5	4	3	Ja	114,1	37,2	338,4	23,0
83	5	4	4	Ja	130,3	40,3	385,6	25,4
85	5	5	0	Ja	81,6	29,7	243,9	17,7
86	5	5	1	Ja	97,8	33,7	291,1	20,5
87	5	5	2	Ja	114,1	37,2	338,4	23,0
88	5	5	3	Ja	130,3	40,3	385,6	25,4
89	5	5	4	Ja	146,6	43,2	432,9	27,7
90	5	5	5	Ja	162,8	45,8	480,2	29,8

Anhang Ö-F-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
91	6	0	0	Ja	0,5	0,2	10,6	0,8
98	6	1	0	Ja	16,7	6,7	58,0	4,1
99	6	1	1	Ja	33,0	12,5	105,4	7,2
105	6	2	0	Ja	33,0	12,5	105,4	7,2
106	6	2	1	Ja	49,2	17,6	152,8	10,1
107	6	2	2	Ja	65,5	22,1	200,2	12,8
112	6	3	0	Ja	49,2	17,6	152,8	10,1
113	6	3	1	Ja	65,5	22,1	200,2	12,8
114	6	3	2	Ja	81,7	26,1	247,5	15,4
115	6	3	3	Ja	98,0	29,8	294,9	17,8
119	6	4	0	Ja	65,5	22,1	200,2	12,8
120	6	4	1	Ja	81,7	26,1	247,5	15,4
121	6	4	2	Ja	98,0	29,8	294,9	17,8
122	6	4	3	Ja	114,3	33,1	342,3	20,1
123	6	4	4	Ja	130,5	36,1	389,7	22,3
126	6	5	0	Ja	81,7	26,1	247,5	15,4
127	6	5	1	Ja	98,0	29,8	294,9	17,8
128	6	5	2	Ja	114,3	33,1	342,3	20,1
129	6	5	3	Ja	130,5	36,1	389,7	22,3
130	6	5	4	Ja	146,8	38,8	437,1	24,3
131	6	5	5	Ja	163,0	41,3	484,5	26,3
133	6	6	0	Ja	98,0	29,8	294,9	17,8
134	6	6	1	Ja	114,3	33,1	342,3	20,1
135	6	6	2	Ja	130,5	36,1	389,7	22,3
136	6	6	3	Ja	146,8	38,8	437,1	24,3
137	6	6	4	Ja	163,0	41,3	484,5	26,3
138	6	6	5	Ja	179,3	43,7	531,8	28,1
139	6	6	6	Ja	195,5	45,8	579,2	29,9
140	7	0	0	Ja	0,6	0,2	12,1	0,8
148	7	1	0	Ja	16,8	5,9	59,5	3,6
149	7	1	1	Ja	33,1	10,9	106,9	6,3
156	7	2	0	Ja	33,1	10,9	106,9	6,3
157	7	2	1	Ja	49,3	15,4	154,2	8,9
158	7	2	2	Ja	65,6	19,5	201,6	11,3
164	7	3	0	Ja	49,3	15,4	154,2	8,9
165	7	3	1	Ja	65,6	19,5	201,6	11,3
166	7	3	2	Ja	81,8	23,3	249,0	13,6
167	7	3	3	Ja	98,1	26,7	296,3	15,8
172	7	4	0	Ja	65,6	19,5	201,6	11,3
173	7	4	1	Ja	81,8	23,3	249,0	13,6
174	7	4	2	Ja	98,1	26,7	296,3	15,8
175	7	4	3	Ja	114,3	29,8	343,7	17,8
176	7	4	4	Ja	130,6	32,6	391,1	19,8
180	7	5	0	Ja	81,8	23,3	249,0	13,6
181	7	5	1	Ja	98,1	26,7	296,3	15,8
182	7	5	2	Ja	114,3	29,8	343,7	17,8
183	7	5	3	Ja	130,6	32,6	391,1	19,8
184	7	5	4	Ja	146,8	35,2	438,4	21,7
185	7	5	5	Ja	163,1	37,7	485,8	23,5
188	7	6	0	Ja	98,1	26,7	296,3	15,8
189	7	6	1	Ja	114,3	29,8	343,7	17,8
190	7	6	2	Ja	130,6	32,6	391,1	19,8
191	7	6	3	Ja	146,8	35,2	438,4	21,7
192	7	6	4	Ja	163,1	37,7	485,8	23,5
193	7	6	5	Ja	179,3	39,9	533,2	25,2
194	7	6	6	Ja	195,6	42,0	580,5	26,8
196	7	7	0	Ja	114,3	29,8	343,7	17,8
197	7	7	1	Ja	130,6	32,6	391,1	19,8

Anhang Ö-F-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
198	7	7	2	Ja	146,8	35,2	438,4	21,7
199	7	7	3	Ja	163,1	37,7	485,8	23,5
200	7	7	4	Ja	179,3	39,9	533,2	25,2
201	7	7	5	Ja	195,6	42,0	580,5	26,8
202	7	7	6	Ja	211,8	44,0	627,9	28,4
203	7	7	7	Ja	228,1	45,8	675,3	29,9
204	8	0	0	Ja	0,7	0,2	15,2	0,8
213	8	1	0	Ja	17,0	5,2	62,6	3,3
214	8	1	1	Ja	33,2	9,7	110,1	5,7
222	8	2	0	Ja	33,2	9,7	110,1	5,7
223	8	2	1	Ja	49,5	13,8	157,5	8,0
224	8	2	2	Ja	65,7	17,6	205,0	10,2
231	8	3	0	Ja	49,5	13,8	157,5	8,0
232	8	3	1	Ja	65,7	17,6	205,0	10,2
233	8	3	2	Ja	82,0	21,0	252,4	12,2
234	8	3	3	Ja	98,2	24,2	299,9	14,2
240	8	4	0	Ja	65,7	17,6	205,0	10,2
241	8	4	1	Ja	82,0	21,0	252,4	12,2
242	8	4	2	Ja	98,2	24,2	299,9	14,2
243	8	4	3	Ja	114,5	27,1	347,3	16,1
244	8	4	4	Ja	130,7	29,8	394,8	17,9
249	8	5	0	Ja	82,0	21,0	252,4	12,2
250	8	5	1	Ja	98,2	24,2	299,9	14,2
251	8	5	2	Ja	114,5	27,1	347,3	16,1
252	8	5	3	Ja	130,7	29,8	394,8	17,9
253	8	5	4	Ja	147,0	32,3	442,2	19,6
254	8	5	5	Ja	163,2	34,6	489,6	21,3
258	8	6	0	Ja	98,2	24,2	299,9	14,2
259	8	6	1	Ja	114,5	27,1	347,3	16,1
260	8	6	2	Ja	130,7	29,8	394,8	17,9
261	8	6	3	Ja	147,0	32,3	442,2	19,6
262	8	6	4	Ja	163,2	34,6	489,6	21,3
263	8	6	5	Ja	179,5	36,8	537,1	22,9
264	8	6	6	Ja	195,8	38,8	584,5	24,4
267	8	7	0	Ja	114,5	27,1	347,3	16,1
268	8	7	1	Ja	130,7	29,8	394,8	17,9
269	8	7	2	Ja	147,0	32,3	442,2	19,6
270	8	7	3	Ja	163,2	34,6	489,6	21,3
271	8	7	4	Ja	179,5	36,8	537,1	22,9
272	8	7	5	Ja	195,8	38,8	584,5	24,4
273	8	7	6	Ja	212,0	40,7	632,0	25,9
274	8	7	7	Ja	228,3	42,5	679,4	27,3
276	8	8	0	Ja	130,7	29,8	394,8	17,9
277	8	8	1	Ja	147,0	32,3	442,2	19,6
278	8	8	2	Ja	163,2	34,6	489,6	21,3
279	8	8	3	Ja	179,5	36,8	537,1	22,9
280	8	8	4	Ja	195,8	38,8	584,5	24,4
281	8	8	5	Ja	212,0	40,7	632,0	25,9
282	8	8	6	Ja	228,3	42,5	679,4	27,3
283	8	8	7	Ja	244,5	44,2	726,9	28,6
284	8	8	8	Ja	260,8	45,8	774,3	29,9
285	9	0	0	Ja	0,8	0,2	16,7	0,8
295	9	1	0	Ja	17,0	4,7	64,1	3,1
296	9	1	1	Ja	33,3	8,8	111,6	5,2
305	9	2	0	Ja	33,3	8,8	111,6	5,2
306	9	2	1	Ja	49,5	12,5	159,0	7,2
307	9	2	2	Ja	65,8	15,9	206,4	9,2
315	9	3	0	Ja	49,5	12,5	159,0	7,2

Anhang Ö-F-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
316	9	3	1	Ja	65,8	15,9	206,4	9,2
317	9	3	2	Ja	82,0	19,1	253,8	11,1
318	9	3	3	Ja	98,3	22,1	301,3	12,9
325	9	4	0	Ja	65,8	15,9	206,4	9,2
326	9	4	1	Ja	82,0	19,1	253,8	11,1
327	9	4	2	Ja	98,3	22,1	301,3	12,9
328	9	4	3	Ja	114,5	24,8	348,7	14,6
329	9	4	4	Ja	130,8	27,4	396,1	16,3
335	9	5	0	Ja	82,0	19,1	253,8	11,1
336	9	5	1	Ja	98,3	22,1	301,3	12,9
337	9	5	2	Ja	114,5	24,8	348,7	14,6
338	9	5	3	Ja	130,8	27,4	396,1	16,3
339	9	5	4	Ja	147,1	29,8	443,5	17,9
340	9	5	5	Ja	163,3	32,0	491,0	19,4
345	9	6	0	Ja	98,3	22,1	301,3	12,9
346	9	6	1	Ja	114,5	24,8	348,7	14,6
347	9	6	2	Ja	130,8	27,4	396,1	16,3
348	9	6	3	Ja	147,1	29,8	443,5	17,9
349	9	6	4	Ja	163,3	32,0	491,0	19,4
350	9	6	5	Ja	179,6	34,1	538,4	20,9
351	9	6	6	Ja	195,8	36,1	585,8	22,3
355	9	7	0	Ja	114,5	24,8	348,7	14,6
356	9	7	1	Ja	130,8	27,4	396,1	16,3
357	9	7	2	Ja	147,1	29,8	443,5	17,9
358	9	7	3	Ja	163,3	32,0	491,0	19,4
359	9	7	4	Ja	179,6	34,1	538,4	20,9
360	9	7	5	Ja	195,8	36,1	585,8	22,3
361	9	7	6	Ja	212,1	37,9	633,2	23,7
362	9	7	7	Ja	228,3	39,7	680,7	25,0
365	9	8	0	Ja	130,8	27,4	396,1	16,3
366	9	8	1	Ja	147,1	29,8	443,5	17,9
367	9	8	2	Ja	163,3	32,0	491,0	19,4
368	9	8	3	Ja	179,6	34,1	538,4	20,9
369	9	8	4	Ja	195,8	36,1	585,8	22,3
370	9	8	5	Ja	212,1	37,9	633,2	23,7
371	9	8	6	Ja	228,3	39,7	680,7	25,0
372	9	8	7	Ja	244,6	41,3	728,1	26,3
373	9	8	8	Ja	260,8	42,9	775,5	27,6
375	9	9	0	Ja	147,1	29,8	443,5	17,9
376	9	9	1	Ja	163,3	32,0	491,0	19,4
377	9	9	2	Ja	179,6	34,1	538,4	20,9
378	9	9	3	Ja	195,8	36,1	585,8	22,3
379	9	9	4	Ja	212,1	37,9	633,2	23,7
380	9	9	5	Ja	228,3	39,7	680,7	25,0
381	9	9	6	Ja	244,6	41,3	728,1	26,3
382	9	9	7	Ja	260,8	42,9	775,5	27,6
383	9	9	8	Ja	277,1	44,4	822,9	28,8
384	9	9	9	Ja	293,3	45,8	870,4	29,9
385	10	0	0	Ja	0,8	0,2	18,2	0,8
396	10	1	0	Ja	17,1	4,2	65,6	2,8
397	10	1	1	Ja	33,3	8,0	113,0	4,8
407	10	2	0	Ja	33,3	8,0	113,0	4,8
408	10	2	1	Ja	49,6	11,4	160,4	6,6
409	10	2	2	Ja	65,8	14,6	207,9	8,4
418	10	3	0	Ja	49,6	11,4	160,4	6,6
419	10	3	1	Ja	65,8	14,6	207,9	8,4
420	10	3	2	Ja	82,1	17,6	255,3	10,1
421	10	3	3	Ja	98,4	20,3	302,7	11,8

Anhang Ö-F-MW

Kombination Nr. [/]	m [/]	Schotte durchnässt [/]		KA	GWP		PEB _{n.e.}	
		S ₁	S ₂		Einsparung absolut [t]	Einsparung prozentuell [%]	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung prozentuell [%]
429	10	4	0	Ja	65,8	14,6	207,9	8,4
430	10	4	1	Ja	82,1	17,6	255,3	10,1
431	10	4	2	Ja	98,4	20,3	302,7	11,8
432	10	4	3	Ja	114,6	22,9	350,1	13,4
433	10	4	4	Ja	130,9	25,3	397,5	14,9
440	10	5	0	Ja	82,1	17,6	255,3	10,1
441	10	5	1	Ja	98,4	20,3	302,7	11,8
442	10	5	2	Ja	114,6	22,9	350,1	13,4
443	10	5	3	Ja	130,9	25,3	397,5	14,9
444	10	5	4	Ja	147,1	27,6	444,9	16,4
445	10	5	5	Ja	163,4	29,8	492,3	17,9
451	10	6	0	Ja	98,4	20,3	302,7	11,8
452	10	6	1	Ja	114,6	22,9	350,1	13,4
453	10	6	2	Ja	130,9	25,3	397,5	14,9
454	10	6	3	Ja	147,1	27,6	444,9	16,4
455	10	6	4	Ja	163,4	29,8	492,3	17,9
456	10	6	5	Ja	179,6	31,8	539,7	19,3
457	10	6	6	Ja	195,9	33,7	587,1	20,6
462	10	7	0	Ja	114,6	22,9	350,1	13,4
463	10	7	1	Ja	130,9	25,3	397,5	14,9
464	10	7	2	Ja	147,1	27,6	444,9	16,4
465	10	7	3	Ja	163,4	29,8	492,3	17,9
466	10	7	4	Ja	179,6	31,8	539,7	19,3
467	10	7	5	Ja	195,9	33,7	587,1	20,6
468	10	7	6	Ja	212,1	35,5	634,5	21,9
469	10	7	7	Ja	228,4	37,2	681,9	23,1
473	10	8	0	Ja	130,9	25,3	397,5	14,9
474	10	8	1	Ja	147,1	27,6	444,9	16,4
475	10	8	2	Ja	163,4	29,8	492,3	17,9
476	10	8	3	Ja	179,6	31,8	539,7	19,3
477	10	8	4	Ja	195,9	33,7	587,1	20,6
478	10	8	5	Ja	212,1	35,5	634,5	21,9
479	10	8	6	Ja	228,4	37,2	681,9	23,1
480	10	8	7	Ja	244,6	38,8	729,3	24,4
481	10	8	8	Ja	260,9	40,4	776,8	25,5
484	10	9	0	Ja	147,1	27,6	444,9	16,4
485	10	9	1	Ja	163,4	29,8	492,3	17,9
486	10	9	2	Ja	179,6	31,8	539,7	19,3
487	10	9	3	Ja	195,9	33,7	587,1	20,6
488	10	9	4	Ja	212,1	35,5	634,5	21,9
489	10	9	5	Ja	228,4	37,2	681,9	23,1
490	10	9	6	Ja	244,6	38,8	729,3	24,4
491	10	9	7	Ja	260,9	40,4	776,8	25,5
492	10	9	8	Ja	277,1	41,8	824,2	26,7
493	10	9	9	Ja	293,4	43,2	871,6	27,8
495	10	10	0	Ja	163,4	29,8	492,3	17,9
496	10	10	1	Ja	179,6	31,8	539,7	19,3
497	10	10	2	Ja	195,9	33,7	587,1	20,6
498	10	10	3	Ja	212,1	35,5	634,5	21,9
499	10	10	4	Ja	228,4	37,2	681,9	23,1
500	10	10	5	Ja	244,6	38,8	729,3	24,4
501	10	10	6	Ja	260,9	40,4	776,8	25,5
502	10	10	7	Ja	277,1	41,8	824,2	26,7
503	10	10	8	Ja	293,4	43,2	871,6	27,8
504	10	10	9	Ja	309,6	44,5	919,0	28,9
505	10	10	10	Ja	325,9	45,8	966,4	29,9