

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Dresdner Beiträge zur Lehre der Betrieblichen Umweltökonomie

LIFE CYCLE ASSESSMENT

Nr. 08/2001

Krebs, P. / Günther, E. /
Obenaus, G. (Hrsg.)

Regenwassernutzung
im nicht privaten Bereich

Eine technische und wirtschaftliche Analyse
dargestellt am Beispiel des
Fraunhofer-Institutszentrum Dresden

Bölter, C.

Herausgeber:



**Professur für
Betriebswirtschaftslehre
Betriebliche Umweltökonomie**

Prof. Dr. Peter Krebs (Professur für Siedlungswasserwirtschaft)
Prof. Dr. Edeltraud Günther
Dipl.-Ing. Gerd Obenaus (Fraunhofer-Institutszentrum Dresden)
Dipl.-Wirtsch. -Ing. Corinna Bölter

Technische Universität Dresden
Fakultät Wirtschaftswissenschaften
Professur für Betriebswirtschaftslehre,
insbes. Betriebliche Umweltökonomie
01062 Dresden

Telefon: (0351) 463-3 4313

Telefax: (0351) 463-3 7764

E-Mail: bu@mailbox.tu-dresden.de

www.tu-dresden.de/wwbwlbu

Als wissenschaftliches elektronisches Dokument veröffentlicht auf dem Hochschulschriftenserver der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB) unter:

<http://hsss.slub-dresden.de/hsss/servlet/hsss.urlmapping.MappingServlet?id=1076501944000-3140>

Diplomarbeit eingereicht: 2001

Veröffentlicht: 2004

Vorwort

Die Bedeutung der natürlichen Umwelt in den Wirtschaftswissenschaften hat in den vergangenen Jahren kontinuierlich zugenommen: Durch die zunehmende ökologische Knappheit entwickelt sie sich zu einem ökonomisch knappen und somit entscheidungsrelevanten Parameter. Das Forschungsprogramm der Professur für Betriebswirtschaftslehre, insb. Betriebliche Umweltökonomie an der Technischen Universität Dresden spiegelt sich auch im Aufbau der Lehre wider. So fließen die gewonnenen Erkenntnisse aus theoretischer und praktischer Forschung direkt in die einzelnen Lehrveranstaltungen ein. Die vorliegenden „Dresdner Beiträge zur Lehre der Betrieblichen Umweltökonomie“ sollen diesen Prozess der Verzahnung unterstützen. Inhalt der Schriftenreihe sind in erster Linie ausgewählte Diplomarbeiten der Professur für Betriebliche Umweltökonomie, durch die der Leser Einblick in die Arbeitsschwerpunkte und Transparenz über die Arbeitsinhalte gewinnen soll.

Die Gestaltung der Schriftenreihe ist Frau Dipl.-Kffr. Susann Kaulich zu verdanken, in deren Hand die redaktionelle Arbeit, die Koordination der Autoren bzw. Herausgeber und das Layout der vorliegenden Schriftenreihe lag.

Die vorliegende Ausgabe beschäftigt sich mit dem Thema der Regenwassernutzung im nicht privaten Bereich. Im ersten Teil werden in einer Literaturrecherche die bisherigen Erkenntnisse und Untersuchungen auf diesem Gebiet zusammengetragen und ausgewertet, um sie im zweiten Teil der Arbeit anzuwenden.

Für das Fraunhofer-Institutszentrum Dresden wird die Nutzung von Regenwasser als Nachspeisewasser für die Kühltürme sowohl technisch als auch wirtschaftlich analysiert. Die Dimensionierung der Regenwassernutzungsanlage verdeutlicht, durch die Beachtung der örtlichen Gegebenheiten, die Forderung nach einer umfassenden individuellen Planung bei Großprojekten wie diesem. Ebenso beim technischen Aufbau als auch bei der Auswahl der sensiblen Anlagenbauteile stellen die Größe der Auffangflächen, die Anforderungen der Verbrauchsstellen und die Länge der Leitungen besondere Anforderungen an Planung und Ausführung.

Ohne die Betrachtung ökologischer Vorteile der Regenwassernutzung ist die hier konzipierte Anlage aus betriebswirtschaftlicher Sicht als positiv zu bewerten.

Peter Krebs / Edeltraud Günther

Regenwassernutzung im nicht privaten Bereich

Eine technische und wirtschaftliche Analyse
dargestellt am Beispiel des Fraunhofer-Institutszentrum Dresden

Inhaltsverzeichnis

<i>Abbildungsverzeichnis</i>	<i>IV</i>
<i>Tabellenverzeichnis</i>	<i>V</i>
<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	<i>VIII</i>
<i>Symbolverzeichnis</i>	<i>IX</i>
1 Einleitung	1
2 Grundlagen der Regenwassernutzung	2
2.1 Anwendungsbereiche und ökologische Bedeutung	2
2.2 Interessenkonflikte mit Wasserversorgungsunternehmen	3
2.3 Grundsätzlicher Aufbau einer Regenwassernutzungsanlage	3
2.4 Anlagensysteme	4
2.4.1 Schwerkraftanlage	5
2.4.2 Pumpenanlage	5
2.4.3 Misch – System.....	6
2.5 Anlagenkomponenten	6
2.5.1 Auffangflächen	6
2.5.2 Filterung (1. Reinigungsstufe)	7
2.5.3 Regenwasserspeicher	8
2.5.4 Speicherzulauf (2. Reinigungsstufe).....	9
2.5.5 Speicherüberlauf mit Geruchsverschluss (3. Reinigungsstufe)	10
2.5.6 Pumpen, Druckerhöhung und Hauswasserwerk	11
2.5.7 Trinkwassernachspeisung	12
2.6 Entwicklungen im Bereich der Großanlagen	12
2.6.1 Filter für Großanlagen	13
2.6.2 Speicher für Großanlagen	14
2.6.3 Technik in Großanlagen.....	14
2.7 Hygienische und betriebliche Anforderungen	15
2.7.1 Chemisch-physikalische Beschaffenheit von Dachablaufwasser	15
2.7.2 Mikrobiologische Beschaffenheit von Dachablaufwasser.....	16
2.7.3 Erstverwurf	16
2.7.4 Anforderungen an die Nutzung von Dachablaufwasser	17
2.7.5 Anforderungen an Armaturen, Speicher- u. Rohrleitungswerkstoffe.....	17

2.8	Erfahrung über Kosten und Rentabilität	18
2.9	Rechtliche Rahmenbedingungen	19
2.10	Fördermaßnahmen	21
3	<i>Regenwassernutzung für das Institutszentrum Dresden</i>	22
3.1	Einleitung	22
3.2	Problemstellung	22
3.3	Bestandsaufnahme	22
3.4	Wasserverwendung und –verbrauch	24
3.5	Anlagenbeschreibung der Kühltürme	26
3.6	Untersuchungen zur Dachablaufwasserqualität im IZD	27
3.6.1	Zielstellung und Messprogramm	27
3.6.2	Auswahl und Erläuterung der Analyseparameter	28
3.6.3	Auswertung	30
3.7	Varianten der Regenwassernutzung und deren Bemessung	34
3.7.1	Auswahl möglicher Varianten zur Speicherung	34
3.7.2	Speicher	36
3.7.2.1	Speicherbemessung	36
3.7.2.2	Art, Lage und Kenngrößen	38
3.7.3	Filterung.....	39
3.7.4	Rohrleitungssystem, Speicherzu- und überlauf	40
3.7.5	Möglichkeiten der Trinkwassernachspeisung	40
3.7.6	Pumpendimensionierung	41
3.8	Darstellung der Regenwassernutzungsanlage	42
3.9	Weitergehende Maßnahmen zur Regenwassernutzung	43
3.9.1	Versickerung als Ergänzung der Regenwassernutzung	43
3.9.2	Brunnenanlage	45
3.9.3	Wärmepumpen.....	46
4	<i>Wirtschaftlichkeitsnachweis</i>	48
4.1	Kriterien der Wirtschaftlichkeit	48
4.2	Grundlagenermittlung für den Wirtschaftlichkeitsnachweis	49
4.2.1	Kosten- und Ausgabenschätzung.....	49
4.2.1.1	Kosten der RWNA	49
4.2.1.2	Zukünftige Ausgaben.....	50
4.2.2	Zukünftige Ersparnisse	51
4.2.2.1	Trinkwassergebühr.....	51
4.2.2.2	Niederschlagswassergebühr	51
4.2.2.3	Weitere Ersparnisse	51
4.2.3	Kalkulationszinsfuß und Nutzungsdauer	52
4.2.4	Berücksichtigung zukünftiger realer Preisänderungen	52

4.3	Methoden für den Wirtschaftlichkeitsnachweis	54
4.3.1	Kapitalwertmethode.....	54
4.3.1.1	Grundlagen.....	54
4.3.1.2	Ermittlung der wirtschaftlichsten Variante.....	55
4.3.2	Dynamische Amortisationsrechnung.....	56
4.3.2.1	Grundlagen.....	56
4.3.2.2	Ermittlung der Amortisationsdauer	57
4.3.3	Kombination der verschiedenen Wirtschaftlichkeitsmethoden	58
4.3.3.1	Unterscheidungsmerkmale.....	58
4.3.3.2	Kombinierter Einsatz der Methoden.....	59
4.3.4	Wahl der optimalen Variante.....	61
4.3.5	Sensitivitätsanalyse.....	62
5	Ökologische Analyse.....	65
5.1	Grundlagen der Ökobilanzierung.....	65
5.2	Aufbau einer Ökobilanz	65
5.3	Bestehende Ansätze einer Ökobilanzierung für RWNA.....	68
5.4	Versuch einer Ökobilanzierung.....	69
5.4.1	Zieldefinition	69
5.4.2	Sachbilanzen	69
5.4.3	Weitere Bearbeitungsschritte.....	71
6	Zusammenfassung.....	73
	Anhang.....	74
	Literaturverzeichnis.....	106

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau einer Regenwassernutzungsanlage	4
Abbildung 2: Filterwirkungsgrade	7
Abbildung 3: Sedimentation als selbsttätiger Reinigungsvorgang	10
Abbildung 4: Filterschacht für Großanlagen	13
Abbildung 5: Vergleich chemisch-physikalischer Parameter in Regen- und Dachablaufwasserproben, Längsschnitt über 12 Monate	16
Abbildung 6: Reinigungsöffnung FEP Technikum	28
Abbildung 7: Konzentrationen an TOC, BSB5, CSB [mg/l] und KMnO4 [mg/l] im Dachablaufwasser vom Kies-, Ziegel- und Kunststoffdach	32
Abbildung 8: Überlebensfähigkeit einiger Fäkalindikatoren in Regenwasser bei 20°C	34
Abbildung 9: Einsparung an Trinkwassergebühr in Abhängigkeit von der Speichergröße, am Beispiel des Speichers „RWV Zähler Zukunft“	37
Abbildung 10: Filterschacht	39
Abbildung 11: Möglichkeit der Trinkwasser- bzw. Regenwassernachspeisung	41
Abbildung 12: Fließschema der RWNA für das Fraunhofer IZD	43
Abbildung 13: Fließschema Wärmepumpenanlage	47
Abbildung 14: Sensitivitätsanalyse der Amortisationsdauer der wirtschaftlichsten Variante aus der Kombination aus Kapitalwert- und Amortisationsmethode	63
Abbildung 15: Sensitivitätsanalyse des Kapitalwerts der wirtschaftlichsten Variante aus der Kombination aus Kapitalwert- und Amortisationsmethode	64
Abbildung 16: Probenahme am glasierten Ziegeldach vom FEP Gebäude	76
Abbildung 17: Dachrinne und Einlauföffnung zum Fallrohr	76
Abbildung 18: Reinigungsöffnung einer Regenwasserfallleitung im IKTS Altbau	77
Abbildung 19: Darstellung der Verbrauchswerte für den tatsächlichen Wasserverbrauch der Kühltürme der einzelnen Institute	81
Abbildung 20: Darstellung der Verbrauchswerte für den Wasserverbrauch der Kühltürme im Jahr 2000	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht – Filter und Filterwirkungsgrade.....	8
Tabelle 2: Kupfer- und Bleikonzentrationen in Regenwassernutzungsanlagen	18
Tabelle 3: Vergleich verschiedener RWNA bezüglich Kosten und Einsparungen	19
Tabelle 4: Gebäudemasse und deren Dachparameter	23
Tabelle 5: Innerbetriebliche Wassernutzung von März 2000 bis Februar 2001	25
Tabelle 6: Innerbetriebliche Wassernutzung der Institutsgebäude	26
Tabelle 7: Spezifische Baukosten und betriebsgewöhnliche Nutzungsdauern von Versickerungsanlagen	44
Tabelle 8: Kostenbestandteile der Regenwassernutzungsanlage	49
Tabelle 9: Angaben zur Instandhaltung	50
Tabelle 10: Durchschnittliche Nutzungsdauern der Anlagenkomponenten	52
Tabelle 11: Änderungssätze	54
Tabelle 12: Kapitalwerte der Varianten, absteigend sortiert	55
Tabelle 13: Variante mit dem höchsten Kapitalwert = Wirtschaftlichste Variante	55
Tabelle 14: Kapitalwerte und Amortisationszeiten äquivalenter Varianten, absteigend sortiert	56
Tabelle 15: Amortisationsdauern (absteigend sortiert) und dazugehörige Kapitalwerte der Varianten	57
Tabelle 16: Variante mit der kürzesten Amortisationsdauer, Wirtschaftlichste Variante	58
Tabelle 17: Ergebnisse Simulation Speicher „RWV Zähler Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A , absteigend sortiert	60
Tabelle 18: Die wirtschaftlichsten Varianten für die Kombination aus Kapitalwert- und Amortisationsmethode	60
Tabelle 19: Wirtschaftlichste Variante für die Kombination aus Kapitalwert- und Amortisationsmethode	61
Tabelle 20: Wirtschaftlichste Variante für die Kombination aus Kapitalwert- und Amortisationsmethode	61
Tabelle 21: Viertbeste Variante für die Kombination aus Kapitalwert- und Amortisationsmethode	61
Tabelle 22: Parameter für die Sensitivitätsanalyse	62
Tabelle 23: Parameteränderungsspannen für die Sensitivitätsanalyse	63
Tabelle 24: Liste der Wirkungskategorien.....	67
Tabelle 25: Teilprodukte der Anlage	70
Tabelle 26: Bewertungsgewichte nach Wirkungskategorien.....	72
Tabelle 27: Bilanzbewertung nach Wirkungskategorien.....	72
Tabelle 28: Analyseergebnisse des Dachablaufwassers	80
Tabelle 29: Verbrauch an Wärmemengen [MWh]	80

Tabelle 30: Wasserverbrauch [m ³] der Kühltürme im Kälteverbund	80
Tabelle 31: Tatsächlicher Wasserverbrauch [m ³] der Kühltürme der einzelnen Institute	80
Tabelle 32: Mögliche Varianten der RWN	82
Tabelle 33: Ergebnisse Simulation Speicher „RWV Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend nach Rechnungseinheiten K/t _A sortiert	89
Tabelle 34: Ergebnisse Simulation Speicher „FEP Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend nach Rechnungseinheiten K/t _A sortiert	89
Tabelle 35: Ergebnisse Simulation Speicher „IWS Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	90
Tabelle 36: Ergebnisse Simulation Speicher „IKTS Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	90
Tabelle 37: Ergebnisse Simulation Speicher „RWV Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	91
Tabelle 38: Ergebnisse Simulation Speicher „FEP Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	91
Tabelle 39: Ergebnisse Simulation Speicher „IWS Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	92
Tabelle 40: Ergebnisse Simulation Speicher „IKTS Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	92
Tabelle 41: Zusammenfassung für Variante „RWV Heute“	93
Tabelle 42: Zusammenfassung für Variante „Institute Heute“	93
Tabelle 43: Zusammenfassung für Variante „RWV Zukunft“	93
Tabelle 44: Zusammenfassung für Variante „Institute Zukunft“	93
Tabelle 45: Ergebnisse Simulation Speicher „RWV Zähler Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	94
Tabelle 46: Ergebnisse Simulation Speicher „FEP Zähler Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	94
Tabelle 47: Ergebnisse Simulation Speicher „IWS Zähler Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	95
Tabelle 48: Ergebnisse Simulation Speicher „IKTS Zähler Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	95
Tabelle 49: Ergebnisse Simulation Speicher „RWV Zähler Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	96
Tabelle 50: Ergebnisse Simulation Speicher „FEP Zähler Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	96
Tabelle 51: Ergebnisse Simulation Speicher „IWS Zähler Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t _A , absteigend sortiert	97

Tabelle 52: Ergebnisse Simulation Speicher „IKTS Zähler Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A , absteigend sortiert	97
Tabelle 53: Zusammenfassung für Variante „RWV Zähler Heute“	98
Tabelle 54: Zusammenfassung für Variante „Institute Zähler Heute“	98
Tabelle 55: Zusammenfassung für Variante „RWV Zähler Zukunft“	98
Tabelle 56: Zusammenfassung für Variante „Institute Zähler Zukunft“	98
Tabelle 57: Ergebnisse Simulation Speicher „RWV Brunnen“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A , absteigend sortiert	99
Tabelle 58: Ergebnisse Simulation Speicher „FEP Brunnen“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A , absteigend sortiert	99
Tabelle 59: Ergebnisse Simulation Speicher „IWS Brunnen“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A , absteigend sortiert	100
Tabelle 60: Ergebnisse Simulation Speicher „IKTS Brunnen Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A , absteigend sortiert	100
Tabelle 61: Zusammenfassung für Variante „RWV Brunnen“	101
Tabelle 62: Zusammenfassung für Variante „Institute Brunnen“	101
Tabelle 63: Abgeleitete Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für Kapitalwert und Amortisationsdauer, absteigend sortiert	102
Tabelle 64: Emissionen bei Herstellung der Materialien.....	104
Tabelle 65: Gesamtemissionen der RWNA aus Transporten	105

Abkürzungsverzeichnis

ATV	–	Abwassertechnische Vereinigung
AVBWasserV	–	Allgemeinen Bedingungen für die Versorgung mit Wasser
AWG	–	Abwassergebühr
dH	–	deutsche Härte
DIN	–	Deutsches Institut für Normung
DREWAG	–	Dresdner Wasser- und Abwasser
EG	–	Europäische Gemeinschaft
EStDV	–	Einkommenssteuer-Durchführungsverordnung
EStG	–	Einkommenssteuergesetz
EStR	–	Einkommenssteuer-Richtlinien
EStRecht	–	Einkommenssteuerrecht
EWG	–	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
fbr	–	Fachvereinigung für Betriebs- und Regenwasser
FEP	–	Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik
GOK	–	Geländeoberkante
IFAM	–	Institut für Angewandte Materialforschung
IKTS	–	Institut für Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe
IWS	–	Institut für Werkstoff- und Strahltechnik
IZD	–	Institutszentrum Dresden
LAWA	–	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LIS	–	Liquid Indicator System
MGW	–	Mittlere Grundwasserstand
MIPS	–	Materialintensität pro Serviceeinheit
NWG	–	Niederschlagswassergebühr
RWN	–	Regenwassernutzung
RWNA	–	Regenwassernutzungsanlage
RWV	–	Regenwasserverbund
TrinkwV	–	Trinkwasserverordnung
TWG	–	Trinkwassergebühr
UBA	–	Umweltbundesamt
VOB	–	Verdingungsordnung für Bauleistungen

Symbolverzeichnis

A	–	Ausgaben
A_{red}	–	reduzierte Abflussfläche
E	–	Einnahmen
EK	–	Energiekosten
i	–	Zinssatz
I_0	–	Anfangsinvestition
i_i	–	Inflation
i_n	–	nominaler Marktzinssatz
i_r	–	Realzinssatz
j	–	Zahlungsänderungssatz / Preisänderungssatz
K	–	Kapitalwert
K'	–	angestrebter Kapitalwert
P	–	Nennleistung
p	–	Strompreis
S	–	Summe
t	–	Zeit
t_A	–	Amortisationsdauer
t_A'	–	angestrebte Amortisationsdauer
Q	–	Wassermenge
V	–	Förderstrom

1 Einleitung

Der Einsatz von Betriebs- und Regenwasser hat im Rahmen von Maßnahmen zur Einsparung von Trinkwasser in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen. Dies gilt in gleichem Maße für den häuslichen Bereich, wie für gewerbliche und industrielle Bereiche. In der Bundesrepublik Deutschland wird für den Wasserbedarf im allgemeinen ausschließlich Wasser höchster Qualität, Trinkwasser, genutzt. Dieser Qualitätsstandard ist für viele Anwendungsbereiche in der Industrie und im Privathaushalt nicht geschaffen und hierfür wohl auch nicht erforderlich. Die Nutzung von Wasser minderer Qualität – zum Beispiel Regenwasser – ist für diese Bereiche aus ökonomischer und ökologischer Sicht eine sinnvolle Maßnahme und gewinnt dadurch zunehmend an Akzeptanz.

In letzter Zeit haben sich die technischen Möglichkeiten für eine verstärkte Nutzung von Regenwasser und den Bau häuslicher und industrieller Regenwassernutzungsanlagen (RWNA) günstig entwickelt. Industriell gefertigte Behälter und Fördereinrichtungen ermöglichen einfach aufzubauende, preisgünstige Anlagen und stellen damit eine wichtige Voraussetzung für die zunehmende Anwendung und Verbreitung dar.

Besonders in Industrie und Gewerbe hat die Regenwassernutzung ein hohes Potenzial. Die wirtschaftlichen und ökologischen Überlegungen sprechen mehrheitlich dafür. Günstig wirken sich dabei die meist vorhandenen großen Dachflächen und die Relationen von Bedarf und Ertrag für eine Substituierung von Trinkwasser aus. Auch die vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten, an die keine hohen Anforderungen an die Wasserqualität gestellt werden, bieten gute Chancen für einen effektiven Einsatz von Regenwasser.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll für das Fraunhofer-Institutszentrum Dresden ein Konzept für die Regenwassernutzung (RWN) erarbeitet und technisch und wirtschaftlich analysiert werden.

Im ersten Teil der Arbeit sollen zunächst die Grundlagen der Regenwassernutzung dargestellt werden, um einen allgemeinen Überblick über den derzeitigen Erkenntnisstand der Problematik zu erhalten. In der Folge soll die Anlage technisch analysiert und Konsequenzen für die Gestaltung, die Konzeption und den Betrieb der Anlage gezogen werden. Auf dieser Basis sind im dritten Teil der Arbeit verschiedene Varianten hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und deren Parameter zu überprüfen. Abschließend sollen die Grundlagen für eine ökologische Analyse der Regenwassernutzung für das Fraunhofer-Institutszentrum Dresden dargestellt werden.

2 Grundlagen der Regenwassernutzung

2.1 Anwendungsbereiche und ökologische Bedeutung

Grundsätzlich kann Regenwasser in allen Bereichen genutzt werden, für die keine Trinkwasserqualität erforderlich ist. So besteht zum Beispiel in Wohngebäuden die Möglichkeit, Regenwasser für die Toilettenspülung, das Wäschewaschen, die Gartenbewässerung und als Putzwasser zu verwenden.¹ Der Einsatz für die WC-Spülung und die Waschmaschine ist der effektivste Verwendungsbereich im Haus, da hier relativ viel Wasser mit geringen Qualitätsanforderungen gebraucht wird. Anders als bei der Gartenbewässerung ist hier eine kontinuierliche ganzjährige Nutzung gewährleistet. Dies schafft neben der Trinkwassereinsparung regelmäßig freies Rückhaltevolumen in den Zisternen und wird daher als weiterer ökologischer Aspekt, zur Reduzierung der Spitzenbelastung bei Regenwasserabflüssen, betrachtet.² Dieser Aspekt ist besonders bei Starkregen von Bedeutung, da die gleichmäßigeren Abflussströme die Verweildauer des Abwassers in der Kläranlage verlängern und damit die Reinigungsleistung insgesamt verbessert wird.³

In öffentlichen Einrichtungen, wie z. B. Verwaltungsgebäuden und Schulen, kann man das Regenwasser für die Toilettenspülung, als Putzwasser und zur Grünflächenbewässerung nutzen. Letzteres ist zugleich auch eine Maßnahme zur Grundwasseranreicherung durch Versickerung.

Im gewerblichen und industriellen Bereich sind die Einsatzgebiete weitaus größer. Neben dem Sanitärbereich und der Grünflächenbewässerung wird Regenwasser bereits vielfach in Wasch- und Reinigungsprozessen, Kühlanlagen, Laborbetrieben und Filtrerrückspülanlagen verwendet. Weite Verbreitung findet die RWN auch in Garten- und Landschaftsbaubetrieben. Sie bietet sich hier besonders an, da große Dachflächen (Gewächshäuser, Fahrzeuggaragen) zur Verfügung stehen.⁴

Denkbar wären Anwendungen auch in der Stahlindustrie zum Entzundern von Walzprodukten, in der Press- und Stanztechnik und für Hochdruckreiniger (z. B. Entfernung von Lacken). Ebenfalls vorstellbar wäre eine Anwendung in der Papierherstellung zur Verdünnung von Konzentraten (z. B. Reinigern) sowie andere gegenwärtige und zukünftige Einsatzgebiete.⁵

Vor allem in dünn besiedelten Gebieten macht auch eine Speicherung des Regenwassers für Feuerlöschanlagen einen Sinn, wenn eine ständige ausreichende Füllung gewährleistet werden kann.⁶

Betrachtet man diese Aufzählung, so wird die mögliche Kostenreduzierung im Bereich der Hilfs- und Betriebsstoffe sofort deutlich. In vielen Industriebetrieben besteht ein Einspareffekt durch die RWN sogar in zweifacher Hinsicht. Zum Einen wird natürlich Trinkwasser und die damit verbundenen Kosten eingespart, zum Anderen kann der Verbrauch der teuren Harzpatronen, die zur Deionisierung des Wassers nötig sind, verringert werden. Auch ist eine Enthär-

¹ Vgl. Bullermann, M. (1996), S. 6

² Vgl. König, K. W. (1998), S. 56

³ Vgl. Rheinschmidt, R.; Schweitzer, K. (1996), S. 18

⁴ Vgl. König, K. W. (1996), S. 57

⁵ Vgl. Kramer, B.; Skolimowski, C. (1997), S. 18

⁶ Vgl. Sander, H. P. (1998), S. 111

tung des weichen Regenwassers, im Vergleich zum oftmals hartem Trinkwasser, nicht notwendig.⁷

2.2 Interessenkonflikte mit Wasserversorgungsunternehmen

Von den Wasserversorgungsunternehmen (WVU) wird jederzeit die Bereitstellung von Wasser in ausreichender Menge und Qualität erwartet, selbst die Nutzer von RWNA gehen davon aus, dass in Trockenperioden Wasser zur Auffüllung der Speicher bereit steht. Das heißt, das WVU muss bei der Auslegung aller seiner Anlagen (Pumpen, Aufbereitung, Rohrnetz etc.) den Spitzenbedarf in der Trockenperiode ohne Berücksichtigung der Regenwassernutzer beachten.

Für die WVU ist eine geringere Wasserabgabe mit einer wirtschaftlichen Einbuße verbunden. Die laufenden Unterhaltungskosten der öffentlichen Wasserversorgung sind zu 90 % Fixkosten und müssen in jedem Fall vom Kunden gedeckt werden. Das bedeutet, das auch bei sinkender Abgabemenge der Wasserpreis steigt.⁸ Damit führt grundsätzlich jede Wassersparmaßnahme zu Preiserhöhungen.⁹

Befürworter der RWN argumentieren allerdings mit ähnlichen Inhalten für die RWN. Demnach entlastet sie die zentrale Trinkwasserversorgung durch:

- Geringeren Eingriff in die Ökologie (geringere Vertrocknung von Grund und Boden, weniger Landschaftsverbrauch durch Talsperren)
- Volkswirtschaftlichen Ersatz von zu teurem Trinkwasser (geringere Kosten in der Aufbereitung, weniger Aufwendungen für das Rohrnetz, geringerer Aufwand für Wasserschutzgebiete)¹⁰

Nicht zu vergessen ist die persönliche Einsparung der Trinkwasser- und Niederschlagswassergebühren und die Einsparungen der Abwasserwerke durch die Retention und den verzögerten Abfluss des Regenwassers. Erst ein Zusammenschluss und Finanzausgleich der WVU und der Abwasserwerke könnte das Problem zu Gunsten der Regenwassernutzung lösen.¹¹

2.3 Grundsätzlicher Aufbau einer Regenwassernutzungsanlage

Die meisten RWNA besitzen einen im wesentlichen funktional gleichartigen Aufbau, unabhängig vom Verwendungszweck des Wassers.

⁷ Vgl. Wilhelm, M. (2000), S. 16

⁸ Vgl. Brüggemann, K. (1995), S. 18

⁹ Vgl. Schüle, E.; Schlichtig, B. (1995), S. 177

¹⁰ Vgl. Brüggemann, K. (1995), S. 17 f.

¹¹ Vgl. König, K. W. (1996), S. 140

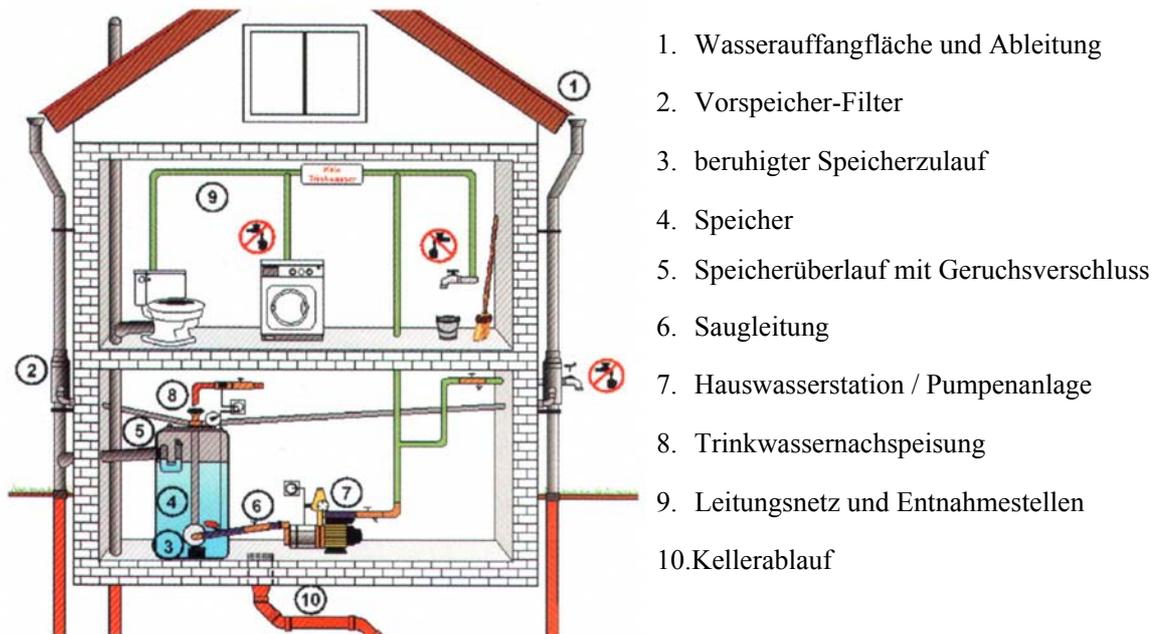


Abbildung 1: Aufbau einer Regenwassernutzungsanlage
(Quelle: Landeshauptstadt Dresden (Hrsg.) (1999), S. 48)

Das vom Dach abfließende Niederschlagswasser wird über einen Filter in den Speicher geleitet. Unterschiedliche Ausführungen des Speichers erlauben einen Einbau sowohl innerhalb, wie auch außerhalb des Hauses. Durch eine beruhigte Zuführung des Regenwassers können sich Schmutzstoffe am Boden des Speichers ablagern, was zu einer weiteren Qualitätsverbesserung des Wassers führt. Um bei vollem Speicher ein Überlaufen zu vermeiden, muss ein Anschluss zur Kanalisation oder besser zu einer Versickerungsanlage eingebaut werden. Das im Speicher gesammelte Wasser wird oberhalb der Sedimentationszone mittels Pumpe zu den einzelnen Verbrauchsstellen gefördert. Durch eine automatische Füllstandserfassung und Nachspeisung wird die Versorgung bei leerem Speicher durch die Einspeisung von Trinkwasser sichergestellt.¹²

2.4 Anlagensysteme

In der Anlagentechnik der RWN haben sich im Laufe der Zeit für die verschiedenen baulichen Gegebenheiten unterschiedliche Systeme entwickelt.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen zwei verschiedenen Anlagentypen, der Schwerkraft- und der Pumpenanlage. Alle anderen bekannten Systemarten sind Abwandlungen oder Verbindungen davon und gelten als Mischsysteme.¹³

Im folgenden sollen diese Systeme dargestellt und deren Vor- und Nachteile aufgezeigt werden.

¹² Vgl. fbr (Hrsg.) (2001)

¹³ Vgl. Bredow, W. (1988), S. 32

2.4.1 Schwerkraftanlage

Bei diesem Anlagentyp wird das Regenwasser in einem oberhalb der Verbrauchsstellen (üblicherweise auf dem Dachboden) aufgestelltem Behälter gesammelt und fließt allein durch die Schwerkraft zu den Zapfstellen.

Die Vorteile liegen dabei sehr nahe, das System ist sehr einfach und billig zu realisieren. Man benötigt nur einen Behälter und einige Leitungen und die Anlage funktioniert fast vollautomatisch.¹⁴

In der Baupraxis scheitert dieses Prinzip gewöhnlich schon daran, dass die Dachrinne üblicherweise tiefer liegt als der Dachboden. Außerdem können dort aus statischen Gründen meist keine größeren Lasten untergebracht werden, da die normale Geschossdeckenbelastung nicht größer als 200-300 kg/m² sein darf.¹⁵ Daraus ergibt sich für den Wassertank eine maximale Höhe von 20-30 cm. Zur besseren Ausnutzung der Dachbodenfläche müsste die Tragfähigkeit wesentlich erhöht werden, was unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht sinnvoll erscheint. Hinzu kommt, dass die Lagerung von größeren Wassermengen auf dem Dachboden im Falle eines Lecks beträchtliche Schäden anrichten kann. Auch mit Problemen durch Frost im Winter und starker Erwärmung mit Aufkeimung im Sommer ist zu rechnen.¹⁶

Außerdem fließt das Wasser nicht mit dem gewohnten Wasserleitungsdruck von 3-4 bar aus den Zapfstellen, sondern lediglich mit einem sehr geringen Druck, der sich aus der Höhendifferenz ergibt: 5 Meter Höhe bedeuten 0,5 bar Druck, abzüglich der Reibungsverluste im Rohrnetz. Für Spülkästen und Waschmaschinen ist zum richtigen funktionieren ein Mindestdruck von 0,5 bis 1 bar erforderlich.¹⁷

Aus diesen Gründen wird sich eine reine Schwerkraftanlage vermutlich nur selten realisieren lassen, und wenn, dann nur mit sehr geringem Speichervolumen. Geeignet wäre sie wohl nur bei Häusern mit Hanglage. Deren Sammelbehälter können außerhalb des Hauses, in der Nähe der Dachrinne, platziert werden.¹⁸

2.4.2 Pumpenanlage

Bei diesem Anlagentyp, wie er auch in der Abbildung 1 dargestellt ist, ist die Lage des Speichers frei wählbar, er kann sowohl innerhalb des Hauses (Keller oder Erdgeschoss), als auch außerhalb des Hauses (ober- oder unterirdisch) aufgestellt werden. Das Wasser wird mit einer Pumpe zu den Entnahmestellen transportiert. Die Pumpe erzeugt einen Druck von 3 bis 6 bar, welcher vergleichbar mit dem normalen Wasserleitungsdruck ist. Somit können alle Verbraucher ohne Einschränkungen angeschlossen werden. Mit dem Einbau dieses Systems hat man jedoch höhere Anlagenkosten, einen erhöhten Wartungsaufwand und zusätzliche Betriebskosten durch den Energieverbrauch der Pumpe.¹⁹

¹⁴ Vgl. Bredow, W. (1988), S. 29

¹⁵ Vgl. Schweitzer, K. (1996), S. 28

¹⁶ Vgl. Zentrum für Energie-, Wasser- und Umwelttechnik der Handwerkskammer HK Hamburg (Hrsg.) (1991), S. 24

¹⁷ Vgl. Schweitzer, K. (1996), S. 28

¹⁸ Vgl. Kocsis, G. (1988), S. 38

¹⁹ Vgl. Kocsis, G. (1988), S. 39 f.

Trotz der höheren Kosten hat sich diese Anlage in der Praxis etabliert, da der Speicher an jeder beliebigen Stelle installierbar ist, wodurch die Pumpenanlage universell einsetzbar wird.²⁰

2.4.3 Misch – System

Dieser Anlagentyp stellt eine Vereinigung der beiden vorhergehenden Systeme dar. Man baut einen Sammelbehälter an einen beliebigen Ort und pumpt das Wasser in einen kleineren Behälter auf dem Dachboden bzw. zur höchsten Stelle des Hauses. Aus diesem Vorratsbehälter werden per Schwerkraft die verschiedenen Zapfstellen des Hauses bedient.

Indem man versucht die Vorteile der beiden vorangegangenen Anlagen zu vereinigen, geschieht dies auch gleich mit sämtlichen Nachteilen beider Systeme. Eine Pumpe wird ohnehin benötigt, auch wenn sie in diesem System nur läuft, wenn der obere Vorratsbehälter gefüllt werden muss. Hinzu kommt noch ein weiterer Behälter für das aufgefangene Regenwasser und eine mit entsprechender Steuerung ausgerüsteten Pumpenanlage, damit der Vorratsbehälter nicht überfüllt wird. Außerdem ist eine doppelte Leitungsführung notwendig. Des weiteren ist mit höheren Stromkosten zu rechnen, da die Pumpe das Wasser erst einmal auf ein sehr viel höheres Niveau pumpen muss. Dieser Anlagentyp ist also vom System her am aufwendigsten und teuersten. Das Misch-System wird daher nur bei besonderen örtlichen Gegebenheiten oder besonderen Erfordernissen sinnvoll sein.²¹

2.5 Anlagenkomponenten

2.5.1 Auffangflächen

Regenwasser kann von praktisch allen Dächern aufgefangen und genutzt werden. Die verschiedenen Dachmaterialien unterscheiden sich lediglich in ihrem Abflussverhalten und in der Qualität des abfließenden Wassers.²²

Es wurden bereits umfangreiche Untersuchungen zum Einfluss der Dachbeschaffenheit auf die Wasserqualität durchgeführt. Besonders geeignet zur Regenwassergewinnung sind demnach alle glatten Materialien wie Tonziegel, Schiefer, Metalle und Kunststoffe, weil dadurch der Schmutzeintrag von Staubablagerungen und organischen Stoffen in den Regenwasserspeicher verringert wird.²³

Bei Betondachsteinen ist nach einigen Jahren aufgrund der zunehmenden Verwitterung mit einer erhöhten Staubdeposition und mit Moos- und Flechtenbewuchs zu rechnen. Außerdem wird bei dem Verwitterungsprozess Kalziumkarbonat aus dem Material gelöst, das zu einer leichten Aufhärtung des Wassers führt. Diese chemische Reaktion ist mitunter von Vorteil, da sie zu einer Neutralisation des Säuregehalts im häufig leicht sauren Regen führt.²⁴

Bei bitumengedeckten Dächern nimmt das Regenwasser häufig eine Gelbfärbung an. Die Waschergebnisse können hierdurch beeinflusst werden. Zur Grünflächenbewässerung und Toilettenspülung kann der Ablauf von Bitumendächern, insbesondere wenn diese bekiest sind (Vorfiltration), ohne Bedenken eingesetzt werden.²⁵

²⁰ Vgl. Bredow, W. (1988), S. 31

²¹ Vgl. Bredow, W. (1988), S. 32

²² Vgl. Schweitzer, K. (1996), S. 30

²³ Vgl. Schmidt, H. (1986), S. 102; Vgl. Bullermann, M. u.a. (1989), S. 59

²⁴ Vgl. Schweitzer, K. (1996), S. 30

²⁵ Vgl. Bullermann, M. u.a. (1989), S. 2

Bei Metalldächern (Aluminium, Zink, Kupfer) ist im Dachablaufwasser mit einer Erhöhung des jeweiligen Metallgehaltes zu rechnen. Da Metalldächer überwiegend bei öffentlichen Gebäuden eingesetzt werden und dort das Dachablaufwasser meist nur für die Toilettenspülung genutzt wird, bestehen diesbezüglich jedoch keine Bedenken.²⁶

Ungeeignet für die Regenwassergewinnung sind Dächer aus Stroh und Reet. Auch Gründächer mit Gras und anderer Bepflanzung eignen sich kaum für die RWN, wegen der aus dem Erdsubstrat stammenden Huminstoffe, die als schwebende Bestandteile im Zisternenwasser eine Nährlösung für unerwünschte Verkeimung darstellen können.²⁷

2.5.2 Filterung (1. Reinigungsstufe)

Die RWNA sollte so konzipiert sein, dass das Niederschlagswasser ausreichend gereinigt wird.

Man unterscheidet hier zwischen zentralen und dezentralen Filtern. Dezentrale Filter werden direkt in die Fallrohre eingebaut, d. h. für jedes an den Regenwasserspeicher angeschlossene Regenfallrohr ist ein separater Filter vorzusehen. Zentrale Filter hingegen werden kurz vor den Zulauf in den Regenwasserspeicher eingebaut. Sie filtern das gesamte Regenwasser aus allen angeschlossenen Regenfallrohren.²⁸

Fast allen Regenwasserfiltern gemeinsam ist eine Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Dachabflussmenge (=Filterzuflussmenge). Der Wirkungsgrad eines Regenwasserfilters ist das Verhältnis von Filterzufluss- zu Filterabflussmenge. Bei vielen Filtern ist für zunehmende Zuflussmenge eine Abnahme des Wirkungsgrades zu beobachten.²⁹

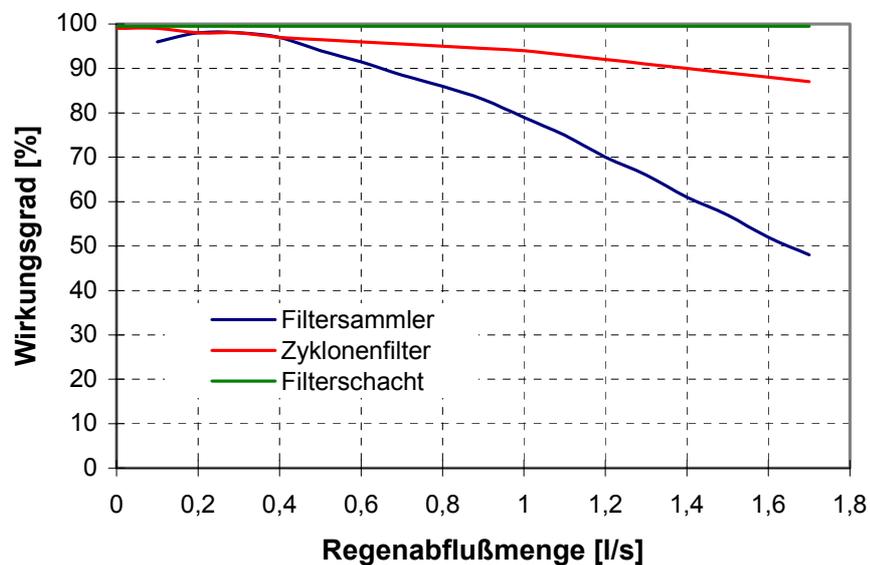


Abbildung 2: Filterwirkungsgrade

(in Anlehnung an: S&L TerraSoft GmbH (Hrsg.) (1999), S. 19)

²⁶ Vgl. Bullermann, M. u.a. (1989), S. 179 f.

²⁷ Vgl. Schweitzer, K. (1996), S. 31

²⁸ Vgl. S&L Terra Soft GmbH (Hrsg.) (1999), S. 18

²⁹ Vgl. S&L Terra Soft (Hrsg.) (1999), S. 18

Der Wirkungsgrad eines Filters wird, wie in Abbildung 2 dargestellt, durch ein Wirkungsgradprofil beschrieben, das meist bei den Filterherstellern erhältlich ist. Oftmals werden von den Anbietern von Regenwasserfiltern jedoch nur Angaben über den mittleren Wirkungsgradbereich eines Filters gemacht.

Eine Übersicht über die am Markt verfügbaren Regenwasserfilter und ihre mittleren Wirkungsgrade bzw. Wirkungsgradbereiche gibt die nachfolgende Tabelle.

	Filtertyp / -name	Wirkungsgradbereich [%]
Dezentrale Filter	Filtersammler (Wagner)	90 - 95 %
	Filtersammler (WISI)	60 - 100 %
	Regendieb (GRAF)	80 - 95 %
Zentrale Filter	Kompaktfilter	80 - 99 %
	Wirbelfilter (WISI)	90 - 100 %
	Filterplatte für Betonzysternen (MALL BETON)	ca. 100 %
	Filterschacht (MALL BETON)	ca. 100 %

*Tabelle 1: Übersicht – Filter und Filterwirkungsgrade
(in Anlehnung an S&L TerraSoft GmbH (Hrsg.) (1999), S. 19)*

Ergänzt werden kann die Filterwirkung durch einen Laubschutz, welcher z. B. aus einem grobmaschigen Kunststoffgewebe sein kann, das in die Dachrinne eingespannt wird, um dort Blätter und kleine Äste zurück zu halten. Aber auch der Einsatz von Laubfangkörben, die in den Einlauf aus der Dachrinne in das Fallrohr eingesetzt werden, ist möglich. Beide müssen regelmäßig gesäubert werden.³⁰

Auf keinen Fall sollten chemische Mittel zur Desinfektion eingesetzt werden. Dies würde die Umwelt unnötig belasten und den gewünschten ökologischen Nutzen der Regenwasserverwendung in Frage stellen. Zudem kann gut gefiltertes Regenwasser in kühlen und dunklen Behältern problemlos lange Zeit gelagert werden.³¹

2.5.3 Regenwasserspeicher

Für die Speicherung von Regenwasser gibt es eine Vielzahl verschiedener Tanks für die unterschiedlichsten Einbauvoraussetzungen und Nutzungsabsichten.

Grundsätzlich sollte darauf geachtet werden, dass das aufgefangene Regenwasser möglichst kühl und dunkel gelagert wird, um die Keim- und Algenbildung zu minimieren.³² Diese Bedingungen sind unter der Erdoberfläche (Außenspeicher) in idealer Weise vorhanden. Zur Lagerung können sowohl Beton- als auch Kunststoffzysternen verwendet werden, aber auch stillgelegte Heizöltanks oder Abwassergruben sind nach entsprechender Reinigung und hygienischer Auskleidung möglich.³³

³⁰ Vgl. Schweitzer, K. (1996), S. 33

³¹ Vgl. Zentrum für Energie-, Wasser- und Umwelttechnik der HK Hamburg (Hrsg.) (1991), S.28

³² Vgl. Deltau, D. (1995), S. 35

³³ Vgl. Bullermann, M. u.a. (1989), S. 11; Vgl. auch Zentrum für Energie-, Wasser- und Umwelttechnik der HK Hamburg (Hrsg.) (1991), S. 30; Vgl. auch Deltau, G. (1995), S. 35

Bei den Dachmaterialien Ziegel oder besandetem Bitumen sind aus qualitativer Sicht Kunststofftanks zu bevorzugen, da die häufig niedrigen pH-Werte (<5,5) den Beton angreifen.³⁴

Möglichkeiten zur Speicherung bietet ebenso ein Innenspeicher aus lichtundurchlässigem Kunststoff. Auch hier gilt es den Speicher nach Möglichkeit kühl und dunkel aufzustellen. Kellerräume bieten dafür die besten Voraussetzungen.³⁵

Methoden zur Speicher-Bemessung

Angesichts der hohen Kosten für den Speicherraum ist es notwendig, ein bedarfsgerechtes Dimensionierungsverfahren anzuwenden. Dabei sind folgende Kriterien zu beachten:

Der Regenwasserbedarf richtet sich nach der angestrebten Nutzungsart (WC-Spülung, Grünflächenbewässerung, etc.), der Nutzungsstruktur (regelmäßig, periodisch) und der Anzahl der Benutzer. Das Niederschlagsdargebot unterscheidet sich im Verlauf eines Jahres (Monatswerte), von Jahr zu Jahr und regional. Die Dimensionierung einer Regenzisterne nach langjährigen Mitteln und zur Überbrückung durchschnittlicher Trockenperioden ist in der Regel ausreichend, da die Ergänzung durch Trinkwasser in jedem Fall vorgesehen werden muss. Die Menge des erfassbaren Niederschlages ist abhängig vom Dachmaterial, der Dachform, den Verlusten und der Größe der zur Verfügung stehenden Auffangfläche.³⁶

In der Literatur findet man eine Vielzahl an Methoden zur Speicher-Dimensionierung, die diese Kriterien berücksichtigen.

Handelt es sich um kleinere Projekte, wie z. B. ein Einfamilienhaus, reichen schon Richtwerte oder Faustregeln zur Dimensionierung des Speicherbehälters. Eine sinnvolle Speichergröße für ein normales Einfamilienhaus (100-120 m² Dachfläche, 3-5 Personen) liegt bei etwa 3-4 m³.³⁷

Erscheint eine reine Abschätzung nach Faustformeln jedoch zu ungenau oder handelt es sich um größere Projekte, etwa für Mehrfamilienhäuser, Verwaltungsgebäude oder Industriebetriebe, sollte eine exaktere Bestimmung des optimalen Speichervolumens vorgenommen werden. Hierfür gibt es eine Vielzahl von Rechenverfahren und Computersimulationsprogrammen. Diese arbeiten mit den Niederschlagsdaten des betreffenden Ortes als Grundlage. Der Ertrag und Verbrauch wird in der Regel in Tages- oder Wochenschritten für einen Jahreszyklus ermittelt, wobei die zu erwartenden Niederschläge mit den zugehörigen Schwankungen aus mindestens 10 aufeinanderfolgenden Jahren berücksichtigt werden sollten. Dieses Verfahren ist bei großen Projekten, bei schwankendem Bedarf oder bei gleichzeitiger Auslegung von Versickerungsanlagen die ideale Methode.³⁸

2.5.4 Speicherzulauf (2. Reinigungsstufe)

Das frische, mit Sauerstoff angereicherte Wasser muss im Speicher strömungsberuhigt nach unten zugeführt werden, damit eine Aufwirbelung des Sediments vermieden wird. Stoffe, die schwerer als Wasser sind, setzen sich am Speicherboden ab (Sedimentation).³⁹ An den absin-

³⁴ Vgl. Schmidt, H. (1986), S. 116

³⁵ Vgl. Zentrum für Energie-, Wasser- und Umwelttechnik der HK Hamburg (Hrsg.) (1991), S. 30

³⁶ Vgl. Cichorowski, Dr. G., Michel, Dr. B., Zorn, D. (1986), S.56

³⁷ Vgl. Rheinschmidt, R.; Schweitzer, K. (1996), S. 65

³⁸ Vgl. König, K. W. (1996), S. 111

³⁹ Vgl. Steinle, D. (2000), S. 7

kenden Schwebstoffen lagern sich dabei auch gelöste Stoffe an (Adsorption), die damit ebenfalls aus dem Wasser entfernt werden und sedimentieren.⁴⁰

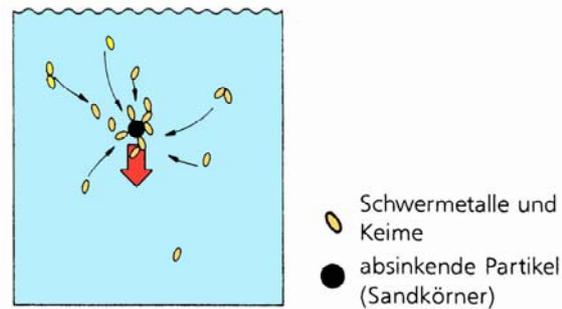


Abbildung 3: Sedimentation als selbsttätiger Reinigungsvorgang

(in Anlehnung an: König, K.-W. (1996), S. 92)

Auf diesem beruhigten Bodensediment bildet sich nach einiger Zeit ein positiver Bakterienflor, der Sauerstoff benötigt, um seine Reinigungswirkung im Speicher voll zu entfalten (mikrobiologische Klärwerksfunktion).

Die Wasserentnahme muss so gestaltet sein, dass eine Verwirbelung und Ansaugung des Bodensediments zuverlässig verhindert wird.⁴¹

2.5.5 Speicherüberlauf mit Geruchsverschluss (3. Reinigungsstufe)

Ist die Zisterne beinahe voll und weist somit ein geringes Aufnahme- und damit Regenrückhaltevolumen auf, oder gibt es einen lang anhaltenden starken Niederschlag, kann die Zisterne überlaufen. Aus diesem Grund ist jeder Speicher mit einem Überlauf versehen, der an die Kanalisation angeschlossen ist.⁴² Ökologisch sinnvoller ist es allerdings, das überlaufende Regenwasser in den natürlichen Wasserkreislauf zurückzuführen und versickern zu lassen.⁴³

Die speicherseitige Ablauföffnung sollte als Skimmer ausgebildet sein, um sicherzustellen, dass beim Überlauf die Schwimmschicht aus fetthaltigen Schmutzpartikeln und Pollen automatisch mit abgezogen wird.⁴⁴

Ist der Speicherüberlauf unterhalb der Rückstauenebene an die Kanalisation angeschlossen, muss darauf geachtet werden, einen Rückstau aus dem Kanal zu verhindern. Abhilfe schafft hier eine Rohrschleife mit Hebeanlage, die Installation einer Rückschlagklappe oder einer Rückstauüberwachung.⁴⁵

Durch die wichtige Funktion des Überlaufs wird auch die Speichergröße begrenzt, da sichergestellt werden muss, dass der Speicher möglichst mehrmals im Jahr überläuft. Das Fehlen der 2. und 3. Reinigungsstufe führt nach einiger Zeit häufig zu jauchig riechendem Wasser.⁴⁶

⁴⁰ Vgl. Schweitzer, K. (1996), S. 38

⁴¹ Vgl. Steinle, D. (2000), S. 7

⁴² Vgl. S&L Terra Soft GmbH (Hrsg.) (1999), S. 21

⁴³ Vgl. König, W. K. (1996), S.44

⁴⁴ Vgl. Steinle, D. (2000), S. 7

⁴⁵ Vgl. S&L Terra Soft GmbH (Hrsg.) (1999), S. 21

⁴⁶ Vgl. Steinle, D. (2000), S. 7

2.5.6 Pumpen, Druckerhöhung und Hauswasserwerk

Außer bei der Schwerkraftanlage ist zum Heben und Fördern von Wasser oder zum Erreichen des notwendigen Versorgungsdruckes an den Entnahmestellen eine Pumpe notwendig. Je nach Anlage kommen unterschiedliche Pumpentypen zum Einsatz. Es sollte jedoch darauf geachtet werden, dass für das Kernstück der Anlage hochwertige Produkte verwendet werden.⁴⁷ In der Literatur ist man sich einig, dass Billigangebote langfristig durch hohen Verschleiß und häufigem Ausfall teurer sind und keine Ersparnis darstellen. Zudem haben sie oft einen hohen Stromverbrauch und wandeln diesen anstelle von Pumpenleistung in Wärme und Lärm um. Ebenfalls wird vor Jet-Pumpen mit Ausdehnungsgefäß gewarnt. Sie haben einen schlechten Wirkungsgrad und eine beachtliche Geräuschkentwicklung. Jet-Pumpen sind in der Praxis als schadensanfällig bekannt, ihre Gummimembran hat sich als wenig haltbar erwiesen.⁴⁸

Empfohlen werden in der Literatur mehrstufige Kreisel- oder teure Kolbenpumpen. Bei gleicher Stromaufnahme wie die Jet-Pumpen sind sie leistungsfähiger und haben einen weitaus höheren Wirkungsgrad. Für die RWN verwendet man fast ausschließlich Kreiselpumpen in unterschiedlichsten Anwendungsvarianten, z. B. für stationäre und mobile, Unterwasser-, normale- und selbstansaugende Elektropumpen. Dabei kann grundsätzlich in Saug- und Druckpumpen unterschieden werden. Druckpumpen befinden sich am Boden der Zisterne und „drücken“ das benötigte Regenwasser nach oben (Tauchpumpe). Saugpumpen hingegen befinden sich außerhalb der Zisterne und saugen das Wasser an.⁴⁹ Aus energetischer Sicht sind Druckpumpen effektiver als Saugpumpen, jedoch sind die Investitionskosten einer Druckpumpe höher.⁵⁰

Sehr wichtig für die Lebensdauer der Pumpen ist der Trockenlaufschutz. Er soll dafür sorgen, dass die Pumpe bei zu wenig Wasser im Speicher nicht trocken läuft. Um dies zu verhindern gibt es Schwimmerschalter, die den Wasserstand im Speicher kontrollieren.⁵¹

Um an den Verbrauchsstellen den gewünschten Druck vorzuhalten und die Pumpe zu steuern, ist eine Druckerhöhungsanlage erforderlich. Eine Möglichkeit dazu bietet die Verwendung eines Druckbehälters oder eines Schaltautomaten. Die Druckerhöhungsanlage wird innerhalb des Gebäudes trocken und frostgeschützt installiert. Verwendet man trocken aufgestellte Saugpumpen in kompakter Bauweise zusammen mit der Druckerhöhungsanlage, nennt man es Hauswasserstation oder Hauswasserwerk.⁵²

Ermitteln der Pumpengröße

Entscheidend für die Bemessung der Pumpe sind der Spitzendurchfluss Q , d. h. die maximal benötigte Fördermenge, die von der Art und Zahl der Zapfstellen abhängt, und die Gesamtförderhöhe H . Diese setzt sich aus der geodätischen Höhe (Anteil der Förderhöhe, der sich durch den Unterschied zwischen der Höhenlage des saugseitigen und druckseitigen Flüssigkeitsniveaus ergibt) und der Verlusthöhe (Anteil der Förderhöhe, die durch Druckverluste an den Verbraucherstellen, Rohrleitungen und Einzelwiderständen (z. B. Krümmer, Übergangs-

⁴⁷ Vgl. Schweitzer, K. (1996), S. 50

⁴⁸ Vgl. König, W. K. (1996), S.85

⁴⁹ Vgl. S&L Terra Soft GmbH (Hrsg.) (1999), S. 22; Vgl auch König, K. W. (1996), S. 83

⁵⁰ Vgl. König, K. W. (1996), S. 83

⁵¹ Vgl. Schweitzer, K. (1996), S. 52

⁵² Vgl. Vgl. König, K. W. (1996), S. 83

stücke, Absperrarmaturen) entsteht) zusammen.⁵³ Beide Größen sind voneinander abhängig. Generell sinkt mit zunehmender Förderhöhe die Wassermenge, umgekehrt kann bei geringer Förderhöhe verhältnismäßig mehr Wasser transportiert werden. Diesen Zusammenhang kann man der Pumpenkennlinie entnehmen.

Für die Auswahl der Pumpe in einem Einfamilienhaus gibt es wie bei der Speicherbemessung Erfahrungswerte. So gelten Pumpen mit einem Förderdruck von 3 bar und einer Fördermenge von 40-50 Litern pro Minute als völlig ausreichend.⁵⁴ Bei größeren Projekten sollte die Auswahl der Pumpe mit Hilfe entsprechender Software bzw. Bemessungstabellen der Hersteller erfolgen.

2.5.7 Trinkwassernachspeisung

Im Falle einer längeren Trocken- oder Frostperiode, oder aufgrund eines zeitweilig erhöhten Regenwasserverbrauchs kann in der Zisterne der minimale Füllstand unterschritten werden. In diesem Fall muss die Versorgung der angeschlossenen Verbrauchsstellen durch die Nachspeisung von Trinkwasser sichergestellt werden.⁵⁵

Für die Nachspeisung von Trinkwasser in die RWNA gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Die Erste ist die Nachspeisung einer bestimmten Menge von Trinkwasser in die Zisterne. Von dieser Möglichkeit ist man heute aber weitgehend abgekommen, da bei einem eventuellen Regenschauer nach der erfolgten Nachspeisung unnötig viel Trinkwasser in den Behälter gefüllt wurde. Außerdem muss eine zusätzliche Trinkwasserleitung an die Zisterne geführt werden. Die zweite Möglichkeit ist die Einspeisung in die Hausstation. Dabei wird das Trinkwasser nach Bedarf über einen freien Auslauf in das Regenwassernetz eingespeist. Diese Art der Trinkwassernachspeisung ist bedarfsgerecht, da nur soviel nachgespeist werden muss, wie benötigt wird.⁵⁶

Bei größeren RWNA werden häufig Zwischenspeicher, beispielsweise in Form von Hybridanlagen verwendet, in welche die Nachspeisung erfolgt.⁵⁷

Eine Einspeisung von Regenwasser in das Trinkwassernetz muss unbedingt vermieden werden. Daher ist bei allen Arten von Nachspeisung unter allen Umständen darauf zu achten, dass keine direkte Verbindung zwischen dem Trinkwasser- und dem Regenwassernetz hergestellt wird. Im Falle einer Nachspeisung in den Speicher muss daher der Einlauf für die Trinkwassernachspeisung oberhalb des Speicherüberlaufes liegen. Bei der Nachspeisung in den Zwischenspeicher muss die Nachspeisung nach DIN 1988 als freier Auslauf gestaltet sein.⁵⁸ Außerdem müssen auch Hinweisschilder angebracht werden, dass es sich nicht um Trinkwasser handelt.

2.6 Entwicklungen im Bereich der Großanlagen

Größere Betriebsanlagen unterscheiden sich von den Hausanlagen schon dadurch, dass praktisch jede Anlage einer umfassenden individuellen Planung bedarf. Darüber hinaus erschwe-

⁵³ Vgl. WILO (Hrsg.) (2000)

⁵⁴ Vgl. Schweitzer, K. (1996), S. 48

⁵⁵ Vgl. Steinle, D. (2000), S. 8

⁵⁶ Vgl. S&L Terra Soft GmbH (Hrsg.) (1999), S. 22

⁵⁷ Vgl. Wack, H.-O. (1995), S. 47

⁵⁸ Vgl. S&L Terra Soft GmbH (Hrsg.) (1999), S. 22

ren die unterschiedlichen Einsatzzwecke den Einsatz vorgefertigter Bauteile im größeren Umfang.

Während eine Mehrfachnutzung von Wasser durch Kreislaufführung in industriellen Bereichen keine Seltenheit mehr ist, kommt die RWN dort noch nicht so häufig vor. Steigende Wasserpreise und die Einführung von Gebühren für das abgeleitete Niederschlagswasser eröffnen der RWN auch im industriellen und gewerblichen Bereich neue Chancen und Einsatzmöglichkeiten. Begünstigt wird diese Entwicklung durch – im Vergleich zu Kleinanlagen – günstigere spezifische Herstellungskosten und kürzere Amortisationszeiten für den Anlagenbetreiber.⁵⁹

2.6.1 Filter für Großanlagen

Der Mangel an optimalen Produkten für den Großanlagenbereich wird besonders bei der Filterung des Regenwassers deutlich. Die herkömmlichen Filter haben meist nur Einsatzgrenzen bis zu 500 m² anschließbarer Dachfläche. Mit einer Parallelschaltung der Filter kann man sich zwar helfen, aber dies wird teuer und aufwendig, ganz abgesehen vom Wartungsaufwand.

Abhilfe schaffen hier z. B. Filterschächte, die eine stehende Filterwand aus Edelstahlgewebe aufweisen. Sie sind für den Anschluss großer Dachflächen (bis 5000 m²_{Ared}) konzipiert und finden primär im industriellen und gewerblichen Bereich ihre Anwendung.⁶⁰ Der monolithisch gefertigte Stahlbetonbehälter macht keine Einschränkungen in Bezug auf den Einbauort und das regelmäßige Absaugen von Filtergut wird in der gewerblichen Anwendung in Kauf genommen.⁶¹

Die Funktionsweise des Filters ist folgendermaßen: Das Dachablaufwasser wird durch den Zulauf strömungsberuhigt in die erste Schachtkammer geleitet. Mitgeführte Schmutzpartikel haben dann die Möglichkeit zu sedimentieren, oder werden ab einer Größe von 0,4 mm durch die senkrecht angeordnete Filterwand zurückgehalten.

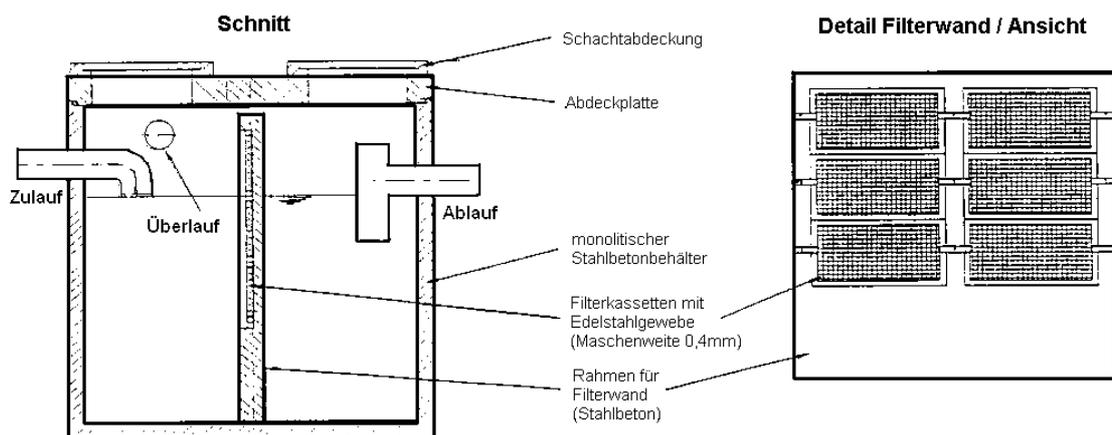


Abbildung 4: Filterschacht für Großanlagen
(in Anlehnung an: MALLBETON (2000))

⁵⁹ Vgl. Deltau, G. (1998), S. 16

⁶⁰ Vgl. MALLBETON (Hrsg.) (2001), S. 10 f.

⁶¹ Vgl. Deltau, G. (1998), S. 17

Die Filterwand verhindert eine frühzeitige Verstopfung gegenüber einem waagrecht angeordneten Flächenfilter. Durch den Strömungsdruck anhaftende Schmutzpartikel haben in den zuflussfreien Zeitintervallen die Möglichkeit zu sedimentieren. Die Kassettenelemente der Filterwand sind aus rostfreiem Edelstahl, verschleißfrei und demzufolge sehr wartungsarm.⁶² Laut Hersteller ist der Austausch der Kassetten erst nach 20 Jahren notwendig.

Die Verbindung zum nachgeschalteten Speicherbecken erfolgt durch ein T-förmiges Rohrstück, dessen untere Öffnung unterhalb des Betriebswasserspiegels liegt. Hierdurch werden eventuelle Schwimmschichten zurückgehalten. Der Überlauf des Filters erfolgt in die Zisterne.⁶³

2.6.2 Speicher für Großanlagen

Noch vor ein paar Jahren hat man, ähnlich wie bei den Filtern, mehrere kleine Einheiten zur Realisierung von größeren Speichern zusammengeschlossen. Hier steigen die Baukosten durch den Aushub zwischen den Speichern schnell in die Höhe, so dass die Nachfrage nach richtigen Großspeichern entstand. Während Regenspeicher mit großem Fassungsvermögen bisher in Ortbeton hergestellt wurden, kann der Kunde nun wählen zwischen Speicher aus Ortbeton, Stahltanks und Betonspeicher in Segmentbauweise. Bei Letzterem werden vorgefertigte Betonteile unter Zuhilfenahme von speziellen Dichteelementen direkt auf der Baustelle verschraubt. Der große Vorteil liegt darin, das man durch die Verwendung von U-Profilen beliebig große Speichervolumina bei kürzesten Bauzeiten realisieren kann.⁶⁴ Dazu werden flache Abdeckplatten, in gleicher Teilung, passend zu den Zwischenstücken aufgeschraubt. Sonderwünsche, wie befahrbare Abdeckungen oder Auftriebssicherung gegen Aufschwimmen leerer Behälter im anstehenden Grundwasser, können bei dieser Fertigbauweise schnell und preiswert erfüllt werden. Die Durchgänge für Zulauf-, Entnahme- und Überlaufleitungen sind in der Speicherwand eingegossen, so dass die Rohre nur durchgesteckt werden müssen.⁶⁵

2.6.3 Technik in Großanlagen

An die technische Ausstattung werden, durch die unterschiedlichsten Randbedingungen, viel höhere Ansprüche als an private Kleinanlagen gestellt. Nicht nur in der Dimensionierung der einzelnen Bauteile, auch beim technischen Aufbau und bei der Auslegung der sensiblen Anlagenteile stellen die Größe der Auffangflächen, die Anforderungen der Verbrauchsstellen und die Länge der Leitungen besondere Anforderungen an Planung und Ausführung.

In den meisten größeren Anlagen wird mittlerweile ohne das in Kleinanlagen übliche System der ansaugenden Pumpen gearbeitet. Hier setzt sich aufgrund der Praxiserfahrung der Einsatz von Unterwasserpumpen oder der Aufbau eines Hybridsystems durch. Dabei wird das Regenwasser nach der Filterung in Erdzisternen gelagert und stufenweise über einen Zwischentank im Gebäude zu den Verbrauchern gefördert.⁶⁶ Aufgrund der Betriebssicherheit und der energetischen Optimierung der gesamten Betriebswasseranlage sind Hybridsysteme den reinen Tauchpumpenanlagen vorzuziehen.

⁶² Vgl. MALLBETON (Hrsg.) (2000)

⁶³ Vgl. MALLBETON (Hrsg.) (2000)

⁶⁴ Vgl. Deltau, G. (1998), S. 17 f.

⁶⁵ Vgl. König, K.-W. (1999), S. 32 ff.

⁶⁶ Vgl. Wack, H.-O. (1995), S. 47

Auf den Einsatz solcher Systeme für Großanlagen haben sich einige Anbieter spezialisiert und bieten maßgeschneiderte Hybridtanks mit speziellen Systemsteuerungen bereits serienmäßig an.⁶⁷

Die Absicherung des Dauerbetriebes bei Großobjekten ist im Vergleich zu Kleinanlagen stärker zu beachten. Daher ist es sinnvoll mögliche Schwachstellen und wartungsintensive Bauteile zu vermeiden, zumal hiermit höhere Betriebskosten zu erwarten wären. Außerdem sollten verschleißanfällige Anlagenbauteile (z. B. Pumpen) mehrfach bzw. besonders sicher ausgelegt werden.⁶⁸

2.7 Hygienische und betriebliche Anforderungen

Hygienische oder mikrobiologische Qualitätsanforderungen für Regenwasser, ähnlich den genau definierten Qualitätsanforderungen für Trinkwasser, existieren derzeit nicht.⁶⁹ Eine Hilfe bei der Suche nach einem Bewertungsmaßstab kann die EG-Richtlinie über die Qualität von Badegewässern sein. Die Grenzwerte der Richtlinie sind so definiert, dass weder bei längerem Körperkontakt, noch bei versehentlichem Schlucken, Erkrankungen ausgelöst werden können.

Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass die gesammelten Niederschläge teilweise eine sehr hohe Qualität aufweisen. In manchen Bereichen (chemische Belastung) lagen die gefundenen Werte sogar im Bereich der Trinkwasserqualität, in anderen (Keimbelastung) allerdings darüber.⁷⁰

Die Qualität von Regenwasser ist regional sehr verschieden, da es Verunreinigungen aus der Luft aufnimmt, die in unterschiedlicher Konzentration vorkommen. Die Konzentration der Stoffe im Niederschlagswasser ist vom zeitlichen Verlauf des Niederschlagsereignisses abhängig. Die Verunreinigung ist zu Beginn des Regens besonders nach längerer Trockenheit höher, weil beim Abfließen des Regens über die Sammelflächen Staub, Tierkot, Laub etc. mitgespült werden. Es konnte auch gezeigt werden, dass die Qualität des Dachablaufwassers vom verwendeten Dachmaterial abhängt.⁷¹ Nähere Erläuterungen dazu wurden bereits in Kapitel 2.5.1 gegeben.

2.7.1 Chemisch-physikalische Beschaffenheit von Dachablaufwasser

Bei den bisher durchgeführten Untersuchungen zur Beschaffenheit von Dachablaufwasser wurde festgestellt, dass das gespeicherte Wasser farblos und klar war, die geringe Härte erhalten blieb und der pH-Wert vom überwiegend sauren Niederschlag in den neutralen Bereich angehoben wurde.

Die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung von 1990 wurden im allgemeinen nicht erreicht. Überschreitungen gab es vereinzelt für die Grenzwerte der Oxidierbarkeit und für Nitrit. Es konnte auch festgestellt werden, dass in Abhängigkeit vom Material der Dachrinnen oder Einfassungen, erhöhte Werte für Zink, Blei und Kupfer auftreten. Die Ergebnisse der übrigen untersuchten Schwermetalle sowie der AOX (Adsorbierbare, Organische Halogenverbindungen,

⁶⁷ Vgl. Delta, G. (1998), S. 19

⁶⁸ Vgl. Wack, H.-O. (1995), S. 48

⁶⁹ Vgl. Nolde, E. (1996), S. 57

⁷⁰ Vgl. Rheinschmidt, R.; Schweitzer, K. (1996), S. 20

⁷¹ Vgl. Cichorowski, G. (1986), S. 52 ff.; Vgl. auch Bullermann, M.; Klein, B. (1996), S. 88

X = Cl) lagen nahe oder unterhalb der Nachweisgrenze.⁷² Abbildung 5 zeigt, dass die Verschlechterung vom Dachablaufwasser, im Vergleich zum Regenwasser, nur unwesentlich höher ist.

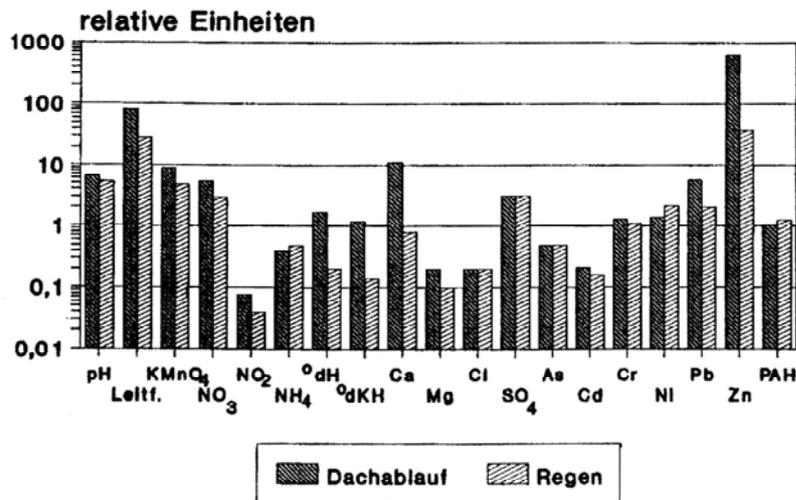


Abbildung 5: Vergleich chemisch-physikalischer Parameter in Regen- und Dachablaufwasserproben, Längsschnitt über 12 Monate
(Quelle: Borneff, M. (1996), S. 28)

2.7.2 Mikrobiologische Beschaffenheit von Dachablaufwasser

Die bisher durchgeführten Untersuchungen zur mikrobiologischen Qualität des Dachablaufwassers haben gezeigt, dass das Wasser aus RWNA nicht den Standard der TrinkwV erfüllt. Die Qualität des Zisternenwassers entsprach aber im allgemeinen den in der Richtlinie über die Qualität der Badegewässer (76/160/EWG) vereinbarten Grenzwerten. Da Zisternenwasser im Gegensatz zu Wasser aus Badegewässern nur sehr selten direkt mit dem Körper in Kontakt kommt und noch seltener verschluckt wird, sind geringe Überschreitungen tolerierbar.⁷³

Bei den Untersuchungen wurden unter Berücksichtigung der TrinkwV erhöhte Keimzahlen wie auch *Escherichia coli*, Coliforme Bakterien, Enterokokken und *Pseudomonas* gefunden. Jedoch wird im allgemeinen davon ausgegangen, dass die Konzentrationen im Dachablaufwasser nicht gesundheitsgefährdend sind. Bei korrekter Installation der Anlage kann somit keine Gefahr für den Menschen bestehen.⁷⁴

2.7.3 Erstverwurf

Untersuchungen haben ergeben, dass die Konzentration der Inhaltsstoffe hauptsächlich im ersten Dachablaufwasser besonders hoch ist. Aus diesem Grund wird vorwiegend in älterer Literatur empfohlen, auf den sogenannten Erstregen zu verzichten oder dieses gesondert aufzubereiten. Vorgeschlagen werden hierfür Reinigungsweichen, auch Fraktionierer oder Sepa-

⁷² Vgl. Borneff, M. (1996), S. 27 f.

⁷³ Vgl. Lücke, F.-K. (1998), S. 35 f.

⁷⁴ Vgl. Holländer, R. (1995), S. 25 f.

rator genannt. Sie führen das Wasser in Abhängigkeit von der elektronischen Leitfähigkeit oder der Trübung dem Speicher zu oder leiten es ab.⁷⁵

Durch einen Verwurf der ersten 1 bis 2 mm Niederschlag kann die Qualität des gespeicherten Wassers unbestritten verbessert werden, da aber die Belastung des Dachablaufwassers nach der Filterung und Sedimentation als unproblematisch gilt, ist die Notwendigkeit eines Erstverwurfs nicht gegeben. Außerdem ist eine Qualitätsverbesserung für die beabsichtigten Nutzungen häufig ohne Bedeutung.⁷⁶

Gegen einen Erstverwurf spricht auch, dass sich die nutzbare Regenwassermenge erheblich reduzieren würde, denn 1 mm Niederschlagshöhe macht bei einem durchschnittlichen Regenereignis zwischen 20 und 30 Prozent der möglichen Menge aus.⁷⁷

2.7.4 Anforderungen an die Nutzung von Dachablaufwasser

Die Anforderungen für die Nutzung des Dachablaufwassers sind je nach Verwendungszweck unterschiedlich zu bewerten. Im nicht-privaten Bereich wird das Regenwasser hauptsächlich zur Bewässerung, WC-Spülung und für die gewerbliche Produktion verwendet. Die geringsten Anforderung werden dabei an die Bewässerung gestellt. Das Regenwasser sollte hier zu keiner Schädigung der Pflanzen und der belebten Bodenzone führen und keinen unangenehmen Geruch verbreiten.⁷⁸

Das WC-Spülwasser dient hauptsächlich dem Transport von Fäkalien. Demnach liegen die Anforderungen an das Regenwasser auch unter denen vom Trinkwasser. Es sollte hauptsächlich darauf geachtet werden, dass die Eisengehalte und Rußpartikel möglichst gering sind, um Ablagerungen zu vermeiden.⁷⁹ Auch ein hoher CSB-Wert, der auf eine hohe organische Belastung des Wassers deutet, ist aufgrund möglicher Geruchsbelästigungen nicht von Vorteil. Alle weiteren Verwendungszwecke müssen im einzelnen geprüft werden. Dazu kann es sinnvoll sein, den Hersteller der Geräte und Materialien, die mit Regenwasser in Kontakt kommen, diesbezüglich zu befragen.⁸⁰ Ähnlich ist es bei einigen Waschmaschinenherstellern, die bereits in ihrer Gebrauchsanweisung darauf hindeuten, dass es keine Einschränkungen bei dem Betrieb mit Regenwasser gibt.

2.7.5 Anforderungen an Armaturen, Speicher- u. Rohrleitungswerkstoffe

Regenwasser kann korrosive Eigenschaften haben, so dass auch unter diesem Gesichtspunkt Qualitätsanforderungen an das Regenwasser zu stellen sind. Auch muss sichergestellt werden, dass die Funktionsfähigkeit von Armaturen, Pumpen, Ventilen etc. nicht durch Schwebstoffe beeinträchtigt wird. Diesbezüglich bestehen beim Dachablaufwasser keine Bedenken, da die relevanten Stoffe sedimentierbar sind.⁸¹

Dachablaufwasser ist aufgrund des sehr geringen Calciumgehaltes nicht in der Lage, eine wirksame Schutzschicht auf der Rohrinneenseite auszubilden, so dass bei metallischen Werk-

⁷⁵ Vgl. König, K. W. (1996), S. 129 f.

⁷⁶ Vgl. Bullermann, M.; u. a. (1989), S. 152 ff.

⁷⁷ Vgl. Pütz, H.-J. (1992), S. 42

⁷⁸ Vgl. Bullermann, M.; u. a. (1989), S. 176

⁷⁹ Vgl. Bullermann; Klein, B. (1996), S. 172 ff.

⁸⁰ Vgl. Kramer, B.; Skolimowski, C. (1997), S. 18

⁸¹ Vgl. Schmidt, H. (1986), S. 114 f.

stoffen mit Korrosionserscheinungen zu rechnen ist.⁸² Die Wechselwirkungen zwischen Regenwasser und Rohrleitungsmaterial zeigt eine Untersuchung von SHARPE/YOUNG (1984) in Pennsylvania, USA. Sie stellten fest, dass bei Dachablaufwasser, welches über Nacht im Leitungsnetz stagnierte, im Verhältnis zum fließenden Wasser und zum Speicherwasser erhöhte Konzentrationen an Blei, Kupfer oder Zink auftraten. Bei Anlagen mit Kunststoffrohrleitungen konnten dagegen keine oder nur geringe Veränderungen der Schwermetallgehalte festgestellt werden.

ausschließlich Kunststoff-Installation	Kupfer [$\mu\text{g/l}$]	Blei [$\mu\text{g/l}$]
Speicher	25-46 (34)	6-8 (7)
stehendes Wasser	25-103 (57)	5-12 (8)
fließendes Wasser	25-52 (35)	6-11 (8)
ausschließlich / vorwiegend Kupfer-Installation	Kupfer [$\mu\text{g/l}$]	Blei [$\mu\text{g/l}$]
Speicher	21-58 (37)	6-34 (10)
stehendes Wasser	50-3603 (927)	6-113 (31)
fließendes Wasser	33-415 (127)	4-36 (10)

Tabelle 2: Kupfer- und Bleikonzentrationen in Regenwassernutzungsanlagen

(Quelle: Schmidt, H. (1986) S. 115)

Wenn schon in Kupferinstallationen Korrosionsvorgänge ablaufen, so ist dies in unedleren Stahlrohren, z. B. verzinkten, um so eher der Fall. Aus diesem Grund wird zur Erzielung einer guten Wasserqualität in RWNA empfohlen, absolut korrosionsbeständige Werkstoffe zu verwenden, vorwiegend also Kunststoffe. Die Korrosionsbeständigkeit sollte sich auch auf Förderpumpen und Druckbehälter erstrecken.⁸³

Als Baustoff für Speicher kommt neben dem weitgehend unproblematischen Kunststoff auch Beton zur Anwendung. Bei Letzterem kann jedoch, insbesondere bei niedrigen pH-Werten im Dachablaufwasser, ein verstärkter Materialangriff durch Lösung von Calcium aus dem Beton auftreten.⁸⁴ Dadurch wird das Zisternenwasser zwar neutralisiert, jedoch verringert ein zu hoher Calciumgehalt wiederum die Vorteile der Regenwasserverwendung für Waschw Zwecke. Auch ist, sofern es sich um Stahlbeton handelt, bei geringer Betondeckung langfristig mit Korrosionserscheinungen zu rechnen. Deshalb fordert die DIN 1045 für Bauteile, die chemischen Einflüssen ausgesetzt sind, eine Mindestbetondeckung.⁸⁵

2.8 Erfahrung über Kosten und Rentabilität

In Privathaushalten steht die Verbreitung der RWN erst am Anfang, was sicher an den langen Amortisationszeiten (durchschnittlich 14 Jahre⁸⁶) einer solchen Anlage liegt. Im gewerblich, industriellen Bereich können durch das große Einsparpotential und die großen Dachflächen die Anlagen viel wirtschaftlicher arbeiten. Dadurch werden wesentlich kürzere Amortisationszeiten erzielt. Beispielsweise lässt sich ein Kühlturm zur Geräte Kühlung mit einer monatlichen Verdunstung von 300 m³ und einem durchschnittlichen Regen ertrag in Höhe von

⁸² Vgl. Bullermann, M. u. a. (1989), S. 177

⁸³ Vgl. Schmidt, H. (1986) S. 115 f.

⁸⁴ Vgl. Bullermann, M. u. a. (1989), S. 178 f.

⁸⁵ Vgl. Schmidt, H. (1986), S. 116 f.

⁸⁶ Vgl. König, K. W. (1998), S. 12

700 mm/a vollständig mit Regenwasser betreiben. Vorausgesetzt, es steht eine Dachfläche (Ziegel, Metall oder Kunststoff) von rund 6000 m², in der Industrie keine Seltenheit, für die Nutzung von Regenwasser zur Verfügung. Abhängig vom Verbrauchsverhalten ist ein Speicher von 100 bis 200 m³ erforderlich. Legt man für die Reduzierung der Trinkwasserkosten für Dresden (2001) einen Preis von 3,92 DM/m³, zuzüglich 7% MwSt., für Trinkwasser zugrunde, so ergibt sich theoretisch eine jährliche Einsparung in Höhe von 17.600 DM. Weil jedoch die Wasserpreise auch in Zukunft ansteigen werden, ist von einer zunehmenden Einsparung auszugehen. Dem stehen selbstverständlich Anlagenkosten in nicht unerheblicher Höhe gegenüber.⁸⁷

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Kosten und Einsparungen verschiedenerer RWNA (im Vergleichsmaßstab) über einen Nutzungszeitraum von 10 Jahren.

Beispielanlagen	Kosten [DM]	Einsparung [m ³ /a]	Vergleichswert [DM/m ³ /10a]
Einfamilien-Häuser			
Mit Kellertank	6.800	57	12,-
Mit Zisterne	10.480	62	17,-
Größere Objekte			
Friedhof	12.650	20	63,-
Schule	46.000	873	5,-
Verwaltungsgebäude	23.300	337	7,-
Kindergarten	24.460	275	9,-
Buswaschanlage	18.000	270	7,-

Tabelle 3: Vergleich verschiedener RWNA bezüglich Kosten und Einsparungen

(Quelle: Wack, H.-O. (1995), S. 49)

Ein positiver Aspekt für Unternehmen ist auch der Imagegewinn der Firma gegenüber der kritischen Öffentlichkeit. Diese Tatsache spiegelt sich in den Bilanzen der Unternehmen wieder, die einen hohen ökologischen Anspruch besitzen. Prominente Beispiele hierfür sind die Neubauten am Potsdamer Platz, die Regierungsbauten in Berlin und der Rhein-Main-Flughafen in Frankfurt.⁸⁸

2.9 Rechtliche Rahmenbedingungen

Der Bau und Betrieb einer RWNA wird durch verschiedene rechtliche Rahmenbedingungen geregelt, die zum Teil nicht bundeseinheitlich sind, sondern auf kommunaler Ebene festgelegt werden. Man sollte sich deshalb frühzeitig beim Bauamt über die jeweiligen Anzeige- und Genehmigungspflichten erkundigen, um eventuell Planungsfehler zu vermeiden.

Im Folgenden soll dargestellt werden, welche gesetzlichen Anforderungen man grundsätzlich zu beachten hat.

⁸⁷ Vgl. Kramer, B. u. a. (1997), S. 19 f.

⁸⁸ Vgl. Kramer, B.; Skolimowski, C. (1997), S. 21

Teilbefreiung vom Anschluss- und Benutzungszwang und Mitteilungspflicht:

Gemäß der Verordnung über die Allgemeinen Bedingungen für die Versorgung mit Wasser (AVBWasserV) § 3 (1) ›Bedarfsdeckung‹ ist dem Kunden im Rahmen des wirtschaftlich Zumutbaren von Versorgungsunternehmen die Möglichkeit einzuräumen, den Wasserbezug auf einen von ihm gewünschten Verbrauchszweck oder auf einen Teilbedarf zu beschränken.⁸⁹

Sinn und Zweck ist es hierbei, einen Ausgleich zwischen den Interessen der Allgemeinheit an einer möglichst sicheren, kostengünstigen und zu weitgehend gleichen Bedingungen erfolgenden Wasserversorgung einerseits und den Individualinteressen der einzelnen Verbraucher unter Berücksichtigung ihrer jeweils besonderen Bedürfnisse und Wünsche andererseits zu schaffen.⁹⁰

Entsprechend § 3 (2) AVBWasserV besteht gegenüber dem WVU vor Errichtung einer Eigengewinnungsanlage Mitteilungspflicht, eine Genehmigung ist demnach nicht erforderlich.⁹¹ Die AVBWasserV führt hierzu aus:

AVBWasserV § 3 (2):

„Vor der Errichtung einer Eigengewinnungsanlage hat der Kunde dem Wasserversorgungsunternehmen Mitteilung zu machen. Der Kunde hat durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass von seiner Eigenanlage keine Rückwirkungen in das öffentliche Wasserversorgungsnetz möglich sind.“

Keine direkte Verbindung von Dachablauf- und Trinkwasser:

Eine direkte Verbindung von Trinkwasseranlagen mit RWNA ist nach Trinkwasserverordnung⁹² § 17 (1) und nach DIN 1988 Teil 4 Abs. 3.2.1 nicht zulässig.

TrinkwV § 17 (1):

„Wasserversorgungsanlagen, aus denen Trinkwasser für Lebensmittelbetriebe mit der Beschaffenheit von Trinkwasser abgegeben wird, dürfen nicht mit Wasserversorgungsanlagen verbunden werden, aus denen Wasser abgegeben wird, das nicht die Beschaffenheit von Trinkwasser hat. Die Leitungen unterschiedlicher Versorgungssysteme sind, soweit sie nicht erdverlegt sind, farblich unterschiedlich zu kennzeichnen.“

DIN 1988 Teil 4, Abs. 3.2.1:

„Verbindungen von Trinkwasseranlagen mit Nichttrinkwasseranlagen sind nicht zulässig.“

Eine Trinkwassernachspeisung ist demzufolge nur über einen freien Auslauf oder einen Rohrunterbrecher A1 erlaubt (DIN 1988 Teil 4 Abs. 4.5.2). Bei einem freien Auslauf muss ein Mindestabstand zwischen dem höchstmöglichen Wasserspiegel im Sammelbehälter und der Unterkante des Zulaufes eingehalten werden. Dieser Abstand beträgt das Doppelte des inneren Durchmessers des Zulaufrohres, mindestens aber 20 mm (DIN 1988 Teil 4 Abs. 4.2.1).⁹³

Arbeiten an der Trinkwasserinstallation, insbesondere am „freien Auslauf“ dürfen laut AVBWasserV nur von einem eingetragenen Fachbetrieb vorgenommen werden.

⁸⁹ Vgl. Zentralverband Sanitär Heizung Klima (Hrsg.) (1993), S. 26

⁹⁰ Vgl. Pöttgen, T. G. (1998), S. 16

⁹¹ Vgl. König, K. W. (1996) S. 11

⁹² Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung – TrinkwV) gültig ab 1. Januar 1991, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1990, Teil 1

⁹³ Vgl. DVGW (Hrsg.) (1991)

Des Weiteren müssen beim Bau einer RWNA die folgenden DIN-Normen beachtet werden⁹⁴:

- DIN 1989 Regenwasser-Nutzungsanlagen (Teil 1 macht Vorgaben bezüglich Planung, Bemessung und Bau, im 2. Teil werden die Anforderungen für die verschiedenen Komponenten einer Regenwasseranlage definiert)
- DIN 1986 Gebäude und Grundstücksentwässerung (Bemessung der Regenrohrleitung; Schutz gegen Rückstau; Regeln für Betrieb und Wartung von Dachrinnen, Einläufen, Regenrohrleitungen; Instandhaltung von Regenrohrleitungen und Schächten; Inspektion und Wartung von Rückstauverschlüssen und Hebeanlagen)
- DIN 1988 (Freier Auslauf, Trinkwasser-Nachspeisung)
- DIN 2403 (Kennzeichnung des Regenwassernetzes und der Entnahmestellen)

Für die Regenwasserversickerung ist das

- ATV Arbeitsblatt A 138 „Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von Niederschlagswasser“ und die
- DIN 4261 für Sickerschächte und Sandfiltergräben einzuhalten.⁹⁵

Relevant für den Bau und Betrieb von RWNA sind auf jeden Fall auch die örtlichen Vorschriften. Dazu gehören:

- die Landesbauordnung (Baugenehmigung, falls erforderlich)
- kommunale Satzungen (Gebühren)
- ggf. Landeswassergesetze

Neben diesen beispielhaft aufgeführten technischen Regeln zur Errichtung einer RWNA gelten ebenfalls die allgemeinen technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen für Gas, Wasser, Abwasser-Installationsarbeiten der VOB Teil C DIN 18381 und die technischen Bauvorschriften.⁹⁶

Wie aus dieser Aufstellung ersichtlich wird, ist rund um die RWN ein technisches Regelwerk vorhanden, welches eindeutige Handlungsanweisungen für alle Beteiligten beinhaltet.

2.10 Fördermaßnahmen

Ein Förderprogramm für die RWN gibt es derzeit nur in wenigen Bundesländern, wie z. B. Schleswig Holstein, Hessen und Bremen.

In Sachsen existieren derzeit beispielsweise Förderprogramme für Emissions- und Klimaschutz, allerdings nur für die Energiegewinnung durch Biomasse und Warmwasserbereitung durch Solarthermie. Gefördert werden auch Wärmepumpen ab 20 Kilowatt Leistung.⁹⁷ Dies lohnt sich bei dieser Größenordnung allerdings nur für Mehrfamilienhäuser und Unternehmen.

⁹⁴ Vgl. Nautilus (Hrsg.) (2001)

⁹⁵ Vgl. Heinrichs, F.-J. (1998), S. 26

⁹⁶ Vgl. Heinrichs, F.-J. (1998), S. 26

⁹⁷ Vgl. Landeshauptstadt Sachsen

3 Regenwassernutzung für das Institutszentrum Dresden

3.1 Einleitung

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Deutschland. In 47 Forschungseinrichtungen an 40 Standorten sind rund 9000 Mitarbeiter beschäftigt, zum überwiegenden Teil Wissenschaftler und Ingenieure.

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist 1949 als gemeinnütziger Verein zur Förderung der angewandten Forschung gegründet worden. Ihren Namen verdankt sie dem als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreichen Münchner Gelehrten Joseph von Fraunhofer (1787 bis 1826).⁹⁸

Das Fraunhofer-Institutszentrum Dresden ist das größte Institutszentrum der Fraunhofer-Gesellschaft in den neuen Bundesländern und beherbergt derzeit vier Institute. Bereits 1990/91 wurden für die Bereiche Hochleistungskeramik und Pulvermetallurgie des damaligen Zentralinstitutes für Festkörperphysik und Werkstoffforschung der Akademie der Wissenschaften und den Bereich Elektronenstrahltechnik des Instituts Manfred von Ardenne die Weichen für leistungsfähige Forschungseinrichtungen in der Fraunhofer-Geschichte gestellt und mit Planungen zu deren Ausbau begonnen.

Nach zweijähriger, intensiver Bautätigkeit konnte im Herbst 1996 der Ergänzungsbau des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe (IKTS), sowie die neuen Gebäude des Fraunhofer-Institutes für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS) und der Außenstelle Pulvermetallurgie des Fraunhofer-Institutes für angewandte Materialforschung (IFAM) als erster Bauabschnitt zur Nutzung an die Institute übergeben werden. Im August 1998 konnte der Technikumneubau sowie das erste Büro- und Laborgebäude des Instituts für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik (FEP) in Betrieb genommen werden.⁹⁹

3.2 Problemstellung

Seit dem 01.01.1999 wird von der Stadtentwässerung in Dresden für Abwasser und Niederschlagswasser eine getrennte Gebühr erhoben. Auf dem Institutsgelände der Fraunhofer-Gesellschaft in Dresden befinden sich mehrere Gebäude, sowie befestigte Park- und Wegflächen. Das hier anfallende Regenwasser ist von dieser Regelung betroffen. Durch die Nutzung des Regenwassers lässt sich nicht nur ein erheblicher Teil der Trinkwassergebühr, sondern auch die für die versiegelten Flächen erhobene Niederschlagswassergebühr zu 90 % einsparen.

Im Folgenden soll überprüft werden, ob eine RWN technisch möglich und ökonomisch sinnvoll ist. Dazu sollen verschiedene Varianten hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit analysiert werden.

3.3 Bestandsaufnahme

Auf dem Gelände der Fraunhofer-Gesellschaft befinden sich derzeit 9 Gebäude, deren Dachflächen vollständig an die Kanalisation angeschlossen sind. Das auf den befestigten Park- und Wegflächen anfallende Niederschlagswasser wird ebenfalls in die Kanalisation geleitet. We-

⁹⁸ Vgl. Fraunhofer-Gesellschaft (Hrsg.) (1999), S. 6.

⁹⁹ Vgl. Fraunhofer-Institutszentrum Dresden (Hrsg.) (1999)

nige Stellen des Institutsgeländes sind mit Rasengittersteinen gepflastert worden, wo das anfallende Regenwasser fast vollständig versickert.

Von einer Nutzung der befestigten Flächen für die Regenwassergewinnung wird abgesehen, da es sich hier um Parkmöglichkeiten für Kraftfahrzeuge und befahrene Straßen handelt. Für diese Flächen könnte über die Möglichkeit der Versickerung nachgedacht werden.

Die in der folgenden Tabelle gezeigten Gebäude können zur Regenwassergewinnung genutzt werden.

Gebäude	Grundfläche [m ²]	Dachmaterial	Abflussbeiwert ¹⁰⁰
IKTS Neubau	1495	Kies	0,5
IKTS Altbau	723	Kunststoff rau	0,7
	278	Kunststoff glatt	0,9
IKTS Technikum	1037	Kunststoff rau	0,7
	236	Kies	0,5
IFAM	634	Kies	0,5
IWS	2315	Kies	0,5
	957	Metall	1
FEP Technikum	2700	Kies	0,5
FEP Gebäude A	1193	Ziegel	1
FEP Gebäude B	660	Ziegel	1
FEP Gebäude C	660	Ziegel	1

*Tabelle 4: Gebäudemaße und deren Dachparameter
(Eigene Darstellung)*

Aufgrund der verschiedenen Dachmaterialien, -formen und -neigungen sind auf dem Institutsgelände auch verschiedene Möglichkeiten der Dachentwässerung vorhanden. Nachfolgend wird für alle Gebäude die Ausgestaltung der Dachentwässerung beschrieben.

Anlagenbeschreibung Dachentwässerung IKTS Neubau und IFAM

Das anfallende Regenwasser wird über gedämmte Dachabläufe den innenliegenden Regenrohren zugeführt. Die Rohre werden unterhalb der Decke bis zu den Schächten verzogen und als Fallrohre bis ins Untergeschoss geführt. Im Untergeschoss sind die Fallstränge an die Sammelanschlussleitungen angeschlossen und werden erst außerhalb des Gebäudes mit dem Schmutzabwasser zusammengeführt. Das anfallende Schmutz- und Regenwasser wird dann dem vorhandenen Mischwasserkanal auf dem Institutsgelände zugeleitet.

¹⁰⁰ Vgl. DIN 1986 Teil 2, S. 15

Anlagenbeschreibung Dachentwässerung IKTS Altbau

Das anfallende Regenwasser wird über die Dachabläufe in die Regenwasserleitungen in das Kellergeschoss geführt. Dort binden sie in die vorhandene Regenwasserleitung ein, welche später dem Mischwasserkanal zugeführt wird.

Anlagenbeschreibung Dachentwässerung IKTS Technikum

Das Regenwasser wird über Dachabläufe in die Regenwasserleitungen in das Kellergeschoss geführt. Dort wird es zusammengeschlossen und in ein separates Entwässerungsnetz für Regenwasser, welches auf dem Gelände des IZD in den Mischwasserkanal mündet, geführt.

Anlagenbeschreibung Dachentwässerung IWS

Zur Ableitung des Niederschlagswassers wurde das sogenannte HDE-Entwässerungssystem eingesetzt. Hierbei handelt es sich um die gefällelose Verlegung von Regenwasserleitungen mit reduzierten Querschnitten gegenüber der herkömmlichen Freispiegelentwässerung. Beim HDE-System wird die Rohrleitung ähnlich einer Trinkwasserleitung als Druckleitung betrieben. Das anfallende Regenwasser wird über gedämmte Spezialdachabläufe den innenliegenden Regenrohren zugeführt. Diese werden unterhalb der abgehängten Decke im Obergeschoss bis zu den Schächten verzogen und als Fallrohr bis ins Untergeschoss geführt. Dort erfolgt die Anbindung der Fallstränge an die Sammelanschlussleitung und erst außerhalb des Gebäudes wird das Dachablaufwasser mit dem Schmutzabwasser zusammengeführt. Das anfallende Schmutz- und Regenwasser wird dann dem vorhandenen Mischwasserkanal auf dem Institutsgelände zugeleitet.

Anlagenbeschreibung Dachentwässerung FEP Technikum

Die Regenentwässerung des Daches wird über Dacheinläufe, die innerhalb der Halle in Rohrleitungen einbinden, realisiert. Die Leitungen verlaufen in den Hallen unterhalb des Daches, binden dann in eine gemeinsame Rohleitung, die zunächst unter dem Hallendach und dann senkrecht in einem Schacht bis in den Hausanschluss-Raum verlegt ist. Von dort erfolgt außerhalb des Gebäudes die Anbindung an das Entwässerungssystem der Liegenschaft.

Anlagenbeschreibung Dachentwässerung FEP Gebäude A bis C

Das Niederschlagswasser wird über die Dachrinnen den Falleitungen zugeführt, welche in Sammelleitungen münden und in den Mischwasserkanal entwässern.

3.4 Wasserverwendung und –verbrauch

Die durch die Institute genutzten Wassermengen lassen sich nach ihrer Verwendung in

- Nachspeisewasser für Kühltürme und Kältekreise
- Reinstwasseraufbereitung
- Warmwasserbereitung
- Befeuchter für Klimaanlage (Reinraum, Labore, etc.)

- Sonstiges Wasser

einteilen. Je nach der Verwendungsart sind unterschiedliche Qualitäten des Wassers erforderlich, die von den innerbetrieblichen Aufbereitungssystemen erreicht werden müssen. Im Speziellen trifft dies für die Reinstwasseraufbereitung und die Befeuchter zu, an die die höchsten Qualitätsanforderungen gestellt werden. Hohe Anforderungen werden auch an das Einspeisewasser für die Warmwasserbereitung gestellt. Für diese Verwendungsarten erscheint ausschließlich Trinkwasser als geeignet.¹⁰¹

Eine RWN erscheint aus ökonomischen Gründen lediglich für die Verwendung als Nachspeisewasser für die Kühltürme und Kältekreise, eventuell zur Toilettenspülung und für Reinigungszwecke sinnvoll. Weitere Verwendungsmöglichkeiten sind auch durch den begrenzten Regenwasserertrag nicht zu realisieren.

Wenn die Wasserverwendung auf der Liegenschaft für den Zeitraum März 2000 bis Februar 2001 betrachtet wird, so zeigt sich, dass der dominierende Anteil von 49% auf die Einspeisung für sonstiges Produktionswasser (Reinstwasser, Warmwasser, Wasser für Befeuchter) entfällt. Der Anteil der Wassernutzung für die Nachspeisung der Kühltürme beträgt etwa 43 %, während der Anteil für die WC-Spülung nur 8 % beträgt.¹⁰²

Monat	Einspeisung [m ³]	Kühltürme		WC		Sonstiges	
		Verbrauch [m ³]	[%]	Verbrauch [m ³]	[%]	Verbrauch [m ³]	[%]
Mrz 00	1241	339	27%	97	8%	805	65%
Apr 00	1213	567	47%	97	8%	550	45%
Mai 00	1616	754	47%	97	6%	765	47%
Jun 00	1455	853	59%	97	7%	507	35%
Jul 00	1385	686	50%	97	7%	602	43%
Aug 00	1948	1047	54%	97	5%	804	41%
Sep 00	1308	530	41%	97	7%	681	52%
Okt 00	1390	533	38%	97	7%	760	55%
Nov 00	1150	505	44%	97	8%	548	48%
Dez 00	859	289	34%	97	11%	473	55%
Jan 01	807	247	31%	97	12%	463	57%
Feb 01	788	239	30%	97	12%	452	57%
12 Monate	15160	6589	43%	1164	8%	7410	49%

Tabelle 5: Innerbetriebliche Wassernutzung von März 2000 bis Februar 2001

(Eigene Darstellung)

Hieraus wird deutlich, dass die Nachspeisung der Kühltürme mengenmäßig betrachtet eine entscheidende Bedeutung an der innerbetrieblichen Wassernutzung hat.

¹⁰¹ Vgl. Winje, D.; Witt, D. (1983), S. 8

¹⁰² Werte sind den Zählerlisten (2000/2001) vom IZD entnommen

Für die Berechnung des Wasserverbrauchs für die WC-Spülung wurde von einer Untersuchung über die Toilettenbenutzung in Verwaltungsgebäuden ausgegangen. Es wurde festgestellt, dass bei der Verwendung von Urinal-WCs bzw. wassersparenden WCs der Wasserverbrauch zwischen 11 und 15 l pro Person und Arbeitstag liegt.¹⁰³ Dieses Ergebnis deckt sich etwa mit dem Verbrauch im FEP Gebäude B, wo das eingespeiste Wasser lediglich für die WC-Spülung, Händewaschen und für den Küchenbedarf genutzt wird.

Die Menge des abgeleiteten Wassers entspricht in der Regel der des Wasseraufkommens. Da bei der Kühlung Verdunstungsverluste auftreten, ist die Abwasserableitung geringer als das Wasseraufkommen. Der Anteil der sogenannten Verdunstungsverluste wurde mit der Stadtentwässerung Dresden (SE) auf $\frac{3}{4}$ des Wasseraufkommens für die Nachspeisung der Kühltürme veranschlagt.

Die folgende Tabelle zeigt den Verbrauch der einzelnen Institutsgebäude. Hieraus wird ersichtlich, dass nicht alle Gebäude Wasser zur Nachspeisung der Kühltürme benötigen. In diesem Fall muss überprüft werden, ob eine Substitution von Trinkwasser durch Regenwasser allein für die WC-Spülung ökonomisch sinnvoll ist.

Gebäude	Kühltürme [m ³ /a]	WC-Verbrauch [m ³ /a]	Summe [m ³ /a]
IKTS Neubau	0	408	408
IKTS Altbau	1800	0	1800
IKTS Technikum	950	0	950
IFAM	105	96	201
IWS	3100	408	3508
FEP Technikum	1200	48	1248
FEP Gebäude A	0	0	0
FEP Gebäude B	0	200	200
FEP Gebäude C	0	0	0

*Tabelle 6: Innerbetriebliche Wassernutzung der Institutsgebäude
(Eigene Darstellung)*

Die Gebäude A und C des Instituts für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik sind derzeit noch im Umbau, so dass keine Verbrauchswerte vorliegen. Sie sollen deshalb nur als Auffangflächen für das Regenwasser betrachtet werden.

3.5 Anlagenbeschreibung der Kühltürme

Auf dem Gelände des Fraunhofer-Institutszentrums befinden sich ausschließlich sogenannte Dunsttürme. Sie werden dort eingesetzt, wo Kältemaschinen Wasser in großen Mengen benötigen, wie z.B. in den Klimaanlage, Luftkühl-, Wasserkühl- und Eisspeicheranlagen.

Die Wirkungsweise eines Kühlturms beruht auf der hohen Verdunstungswärme des Wassers. Um 1 kg Wasser zu verdampfen, muss eine Wärmemenge von ca. 2.407 kJ = 0,669 kWh dem Wasser bei der entsprechenden Verdampfungstemperatur zugeführt werden. Falls diese Wärmemenge nicht zugeführt wird, wird sie der Umgebung entzogen, bis auch diese theoretisch

¹⁰³ Vgl. Bullermann, M. (1989), S. 217 ff.

die Verdampfungstemperatur erreicht hat. In einem Kühlturm kann man als Umgebung das Rieselwasser bezeichnen, das sich infolge des Wärmeentzugs durch verdampfendes Wasser abkühlt. Die Verdampfung oder auch Verdunstung wird durch einströmende Luft eingeleitet, deren Temperatur niedriger liegt als das zu kühlende Rieselwasser. Die Luft nimmt den gesättigten Wasserdampf auf und verlässt das Gerät mit einer wesentlich höher liegenden Feuchttemperatur.

Das benötigte Rieselwasser wird dabei im Kreislauf geführt. Es befindet sich unter dem Kühlturm in der Kühlwasserwanne und wird von dort zu den Sprüheinrichtungen gepumpt, von denen es über den Füllkörpereinsatz aus korrosionsbeständigem Kunststoff wieder in die Kühlwasserwanne rieselt.

Der Frischwasserverbrauch des Kühlturms, der durch die Sprüh- und Verdunstungsverluste entsteht, beträgt ca. 0,5 l/s, eine wichtige Kenngröße zur Dimensionierung der Pumpe.¹⁰⁴

3.6 Untersuchungen zur Dachablaufwasserqualität im IZD

3.6.1 Zielstellung und Messprogramm

Die folgende Untersuchung soll zeigen, inwieweit sich die chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Parameter bei verschiedenen Dachmerkmalen, insbesondere der Dachmaterialien für den Standort des IZD, unterscheiden.

Dazu wurden die drei, sich auf dem Institutsgelände am häufigsten befindlichen Dachmaterialien ausgewählt. Es handelt sich hierbei um:

- Tonziegel
- Kunststoff und
- Kunststoff mit Kiesbelag.

Zusätzlich soll ein Vergleich der Dachablaufwasserqualität mit der Qualität des Kühlwassers dargestellt werden, um zu zeigen, dass das Dachablaufwasser den Anforderungen für diesen Verwendungszweck genügt.

Der finanzielle Rahmen ließ nur eine einmalige Untersuchung der chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Parameter zu. Es erfolgte die Untersuchung der chemisch-physikalischen Parameter im April 2001 und die mikrobiologischen Parameter im Mai 2001. Aufgrund der nur einmaligen Untersuchung, kann diese nicht als repräsentativ und nur bedingt mit bisherigen Untersuchungen vergleichbar angesehen werden.

¹⁰⁴ Vgl. Gohl (Hrsg.) (1995), S. 1 f.



Abbildung 6: Reinigungsöffnung FEP Technikum
(fotografiert am 17.04.2001 von Bölter, C.)

Die Probenahme erfolgte bei den Kunststoffdächern mit/ohne Kiesbelag in den Reinigungsöffnungen der innenliegenden Fallrohre im FEP Technikum bzw. IKTS Altbau (auch Abbildung 16 und Abbildung 17 in der Anlage I-2).

Bei dem Dach aus Tonziegel (FEP Gebäude A) erfolgte die Probenahme unmittelbar am Übergang der waagrecht liegenden Dachrinne zum senkrechten Fallrohr (Abbildung 18 in der Anlage I-3). Die Proben wurden in sterilisierte Behälter gefüllt und sofort nach der Entnahme in das Labor gebracht.

Die Wetterbedingungen während der Probenahmen sind der Anlage I-4 zu entnehmen.

3.6.2 Auswahl und Erläuterung der Analyseparameter

Innerhalb der beiden Untersuchungen sollte möglichst ein breites Spektrum relevanter Inhaltsstoffe im Dachablaufwasser analysiert werden. Die Auswahl der Parameter erfolgte in Anlehnung an die Trinkwasser- und Badegewässerverordnung und an bisher vorliegende Untersuchungen zur Dachablaufwasserqualität. Daraus ergab sich die nachfolgend dargestellte Auswahl an Untersuchungsparameter.

▪ Organoleptische Parameter

Dazu zählen Färbung, Trübung und Geruch. Sie sind aus hygienischer Sicht unbedenklich, können jedoch beim Betrieb der Anlage zu ästhetischen Beeinträchtigungen (unangenehmer Geruch) führen.¹⁰⁵

▪ Temperatur, Sauerstoffgehalt, Härte

Ein hoher Sauerstoffgehalt ist anzustreben, da die Restorganik von dem im Wasser gelösten Sauerstoff aerob und ohne Fäulnisbildung aufgezehrt werden kann und er somit zu Stabilisierung des Wassers beiträgt.¹⁰⁶

Die Parameter Temperatur und Härte dienen nur der allgemeinen Beurteilung des Dachablaufwassers.

¹⁰⁵ Vgl. Bullermann, M.; Klein, B. (1996), S. 76

¹⁰⁶ Vgl. Zeisel, J. (1998), S. 56

▪ **ph-Wert und Säurebildner Sulfat (SO₄), Nitrat (NO₃), Nitrit (NO₂), Chlorid (CL)**

Der ph-Wert ist ein Maß für den Säuregehalt des Wassers. Da er die meisten Reaktionen in wässrigen Lösungen bestimmt (z. B. Schwermetalllösung, Aggressivität gegenüber Werkstoffen), ist er zum einen aus hygienischen Gründen und zum anderen im Hinblick auf einen dauerhaften Betrieb der Anlage von Interesse.¹⁰⁷

Die Salze gehören zu den Säurebildner im Dachablaufwasser und dienen ebenfalls zur ergänzenden Beurteilung des ph-Wertes. Zudem sind sie in erhöhten Konzentrationen hygienisch bedenklich.¹⁰⁸

▪ **Leitfähigkeit, Metalle, Schwermetalle**

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Summenparameter für die im Wasser befindlichen Ionen. Sie hat keine direkte Bedeutung für die RWN, zeigt aber, ob aggressives Wasser die Rohrleitungs- oder Behältermaterialien angreift.¹⁰⁹

Erhöhte Metallgehalte können unter Umständen zu unerwünschten Reaktionen führen, so können beispielsweise erhöhte Eisen- und Mangangehalte in Verbindung mit Sauerstoff zu Verockerungen an den Bauteilen führen, und deren Lebensdauer verkürzen.

Ebenfalls negativ auf die Lebensdauer der Anlagenbauteile wirken sich Zinkgehalte ab 2 mg/l aus. Hier kann es zu Trübungen und sandähnlichen Ablagerungen kommen. In Hinblick auf diese Analyse sind die Ergebnisse besonders interessant, da die Dachabläufe überwiegend aus Zink gefertigt sind.

Erhöhte Kupfergehalte können das Wasser verfärben und grünliche Abscheidungen, z. B. an tropfenden Hähnen hervorrufen, sowie zu einer beschleunigten Korrosion führen.¹¹⁰

Calcium und Magnesium dienen ergänzend zum pH-Wert zur Beurteilung der Aggressivität des Dachablaufwassers.

▪ **Organische Belastungen**

Mit Hilfe der Parameter Trockenrückstand und Glührückstand wird der Gesamtgehalt an gelösten und ungelösten Stoffen, sowie der Gehalt an organischen Stoffen bestimmt. Er kann Aufschluss über die anfallenden Schlammengen und des daraus resultierenden Wartungsaufwandes geben.

Durch die Parameter BSB₅, CSB, KMnO₄, TOC (Total organic Carbon) wird die Belastung mit organischen Stoffen beschrieben. Diese können im Speicher zu Faulungserscheinungen, Bewuchs oder zur Verkeimung führen.

¹⁰⁷ Vgl. Rheinschmidt, R.; Schweitzer, K. (1996), S. 20 f.

¹⁰⁸ Vgl. Bullermann, M.; Klein, B. (1996), S. 78

¹⁰⁹ Vgl. Bullermann, M.; Klein, B. (1996), S. 76

¹¹⁰ Vgl. Bullermann, M.; Klein, B. (1996), S. 77

Erhöhte Konzentrationen an Ammonium (NH_4) deuten im Zusammenhang mit erhöhten Werten für organische Belastungen auf fäkale Verunreinigungen hin. Weiterhin begünstigen sie die Verkeimung des Dachablaufwassers.¹¹¹

▪ **Phosphat (PO_4)**

Phosphat wurde als Verursacher von unerwünschtem Algenwachstum im Speicher in die Analyse aufgenommen.

▪ **Mikrobiologische Parameter**

Die mikrobiologische Regenwasseruntersuchung umfasste folgende Parameter:

- Koloniezahl bei 20°C Bebrütungstemperatur
- Koloniezahl bei 36°C Bebrütungstemperatur
- Coliforme Bakterien
- Escherichia coli
- Fäkalstreptokokken
- Salmonellen
- Pseudomonas

Das Vorhandensein der Bakterien zeigt an, dass in das Wasser, wenn auch auf Umwegen Fäkalien gelangt sind. Mit den fäkalen Verunreinigungen können dann eventuell auch solche Krankheitserreger eingebracht werden, welche infektiöse Erkrankungen verursachen.¹¹²

3.6.3 Auswertung

Für die Beurteilung von Dachablaufwässern existieren, wie in Kapitel 2.6 erläutert, weder verbindliche Qualitätsanforderungen noch Grenz- oder Richtwerte durch entsprechende gesetzliche Vorgaben. Für eine Nutzung von Dachablaufwasser zu Brauchwasserzwecken sind die Ansprüche auf Trinkwasserqualität zwar nicht erforderlich, sollen aber dennoch zur Beurteilung der Analyseergebnisse, welche sich detailliert in der Tabelle 28 im Anhang I-5 befinden, herangezogen werden.

Im folgenden sollen nun die im vorangegangenen Kapitel ausgewählten Parameter ausgewertet und die verschiedenen Materialien miteinander und mit den Proben des Kühlwassers verglichen werden.

▪ **Organoleptische Parameter**

Bei allen drei Dachmaterialien waren die Proben farb- und geruchlos. Im Parameter Trübung konnten alle Proben den Trinkwassergrenzwert nicht einhalten. Die Werte für das Kiesdach und das Kunststoffdach sind dabei höher als der des Ziegeldaches, was wohl daran liegt, dass der Staubanteil auf den rauerer Dachflächen größer ist, als beim glatten Ziegeldach.¹¹³

¹¹¹ Vgl. Bullermann, M.; Klein, B. (1996), S. 76 ff.

¹¹² Vgl. Holländer, R. (1998), S. 60

¹¹³ Vgl. Bullermann (1996), S. 88

▪ pH-Wert und Säurebildner Sulfat/ Nitrat/ Nitrit/ Chlorid

Der pH-Wert weist nur bei dem Kunststoffdach einen geringeren Wert auf, als von der TrinkwV gefordert wird. Da die Kunststoffdächer jedoch einen sehr geringen Anteil der Dachflächen auf dem Gelände ausmachen, kommt es im Speicher zur Vermischung zu Gunsten der höheren pH-Werte. Außerdem kommt es bei Betonzisternen zu chemischen Reaktionen des im Beton enthaltenen Calciumcarbonats und des Calciumhydroxides mit den Säurebildnern im Regenwasser, welche ebenfalls zur Anhebung des pH-Wertes führen.

Die Werte für die Sulfat-, Nitrat-, und Chloridkonzentrationen waren erstaunlich gering und lagen weit unter den Grenzwerten der TrinkwV. Nur für das Kies- und Ziegeldach wurden höhere Werte für Nitrit gemessen.

Auffallend hoch im Vergleich zu den Dachablaufwasserproben waren die Werte für das Kühlwasser, sie lagen jedoch ebenfalls noch unter den Grenzwerten.

▪ Leitfähigkeit, Metalle, Schwermetalle

Die Auswirkungen der Dachmaterialien auf die verschiedenen Metalle und Schwermetalle kann hier aufgrund der niedrigen Analysewerte nur vereinzelt festgestellt werden. Auffallend ist, dass bei keinem der analysierten Parametern eine Überschreitung des Trinkwassergrenzwertes auftritt.

Die Calciumkonzentrationen im Dachablaufwasser sind sehr gering, die Werte vom Kies- und Ziegeldach jedoch wesentlich höher, als die vom Kunststoffdach. Die gemessenen Werte sind allerdings nicht unüblich, besonders Kiesdächer weisen im allgemeinen sehr hohe Calciumgehalte auf.

Ein Calciumgehalt von 4,0 mg/l entspricht einer Gesamthärte von 0,56°dH, d.h. die Dachablaufwässer sind sehr weich. Zur Ausbildung einer Schutzschicht im Rohrnetz ist eine Carbonathärte von mindestens 2,5°dH erforderlich¹¹⁴. Diese Problematik ist besonders bei der Wahl des Rohrleitungsmaterials zu beachten. Die bestehenden Rohrleitungen am Kühlturm sind allerdings aus unedlem Stahl, in diesem Fall ist es möglicherweise sinnvoll, das Regenwasser aufzuhärten, um keine Korrosionserscheinungen hervorzurufen. Ob der nachfolgend beschriebene Aufwand gerechtfertigt ist, sollte dennoch zu Beginn der Inbetriebnahme der RWNA nochmals geprüft werden. Eventuell wird das Dachablaufwasser bereits durch den Kontakt mit dem Beton im Speicher oder durch die Vermischung mit Trinkwasser in der Kühlwasserwanne ausreichend aufgehärtet. Andernfalls könnte eine Aufhärtung am einfachsten durch die Filtration über dolomitische Materialien (CaCO₃, MgO) oder durch Zugabe von Alkalien erfolgen. Bei letzterem eignet sich, neben pulverförmigen Kalkhydrat und verdünnter Kalkmilch, besonders die Zugabe von Kalkwasser. Dafür ist der apparative Aufwand allerdings sehr groß und erfordert zusätzlichen Aufwand für die laufende Bedienung und Wartung. Eine Filtration über halbgebranntem Dolomit ist nicht nur kostengünstiger, auch die Reakti-

¹¹⁴ Vgl. Bullermann (1996), S. 116

onszeiten sind kürzer.¹¹⁵ Der Einbau könnte hinter dem Zulauf in den Speicher oder vor dem Einlauf in die Kühlwasserwanne erfolgen.

Auffallend sind die im Vergleich zum Ziegeldach hohen Zinkkonzentrationen des Kies- und Kunststoffdachs, zumal bei allen drei Gebäuden die Fall- und Sammelleitungen aus Zink bestehen. Indessen die Konzentrationen des Dachablaufwassers die Grenzwerte der TrinkwV nicht überschreiten, liegt der Wert des Kühlwassers mit 8,76 mg/l deutlich darüber. Ähnlich ist es bei den Eisen- und Mangankonzentrationen.

▪ Organische Belastungen

Die organischen Belastungen des Dachablaufwassers wurden als CSB, KMnO_4 -Verbrauch und TOC-Gehalt gemessen, aber auch die Konzentration an Ammonium und Trocken- und Glührückstand geben Aufschluss über den Gehalt an organischen Stoffen.

Dabei konnten deutliche materialspezifische Unterschiede festgestellt werden. Deutlich wird dies anhand der Abbildung 7, wo die Werte vergleichend für die drei Dachmaterialien dargestellt sind. Die weitaus höchste organische Belastung - mit 17,6 mg/l im Dachablaufwasser - wurde beim Kiesdach gemessen. Aber auch die Ergebnisse für das Kunststoffdach sind deutlich höher als die für Ziegel.

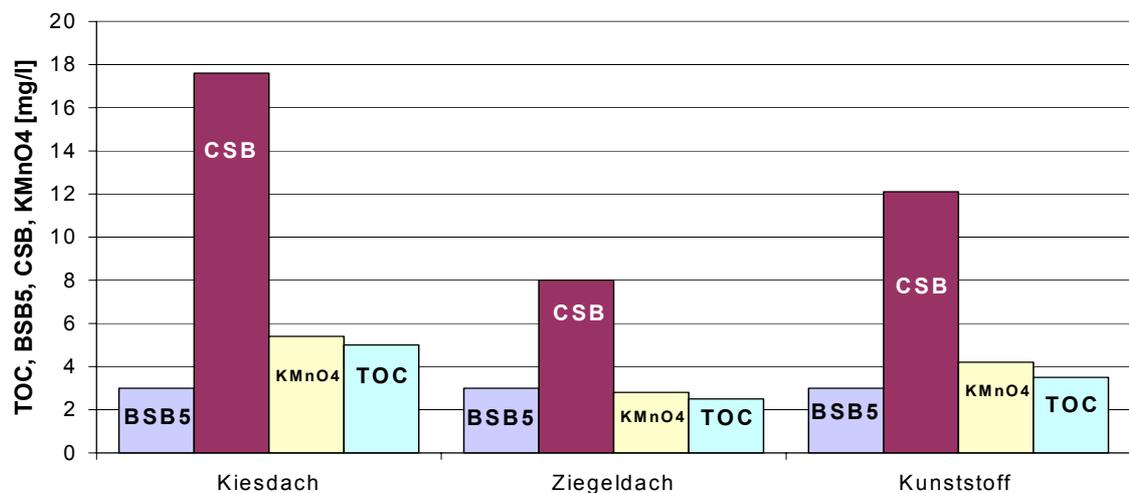


Abbildung 7: Konzentrationen an TOC, BSB5, CSB [mg/l] und KMnO_4 [mg/l] im Dachablaufwasser vom Kies-, Ziegel- und Kunststoffdach
(Eigene Darstellung)

Ursachen dafür sind zum einen die Dachneigung, es handelt sich um Flachdächer, auf denen sich vermehrt organische Verunreinigungen (z.B. Blütenstaub) ablagern können. Zum anderen hat das Kiesdach eine viel größere Oberfläche, auf der sich die organischen Bestandteile besser anlagern können. Es kommt jedoch zu keiner Anreicherung von zersetzten organischen Material, weil durch die Niederschlagsereignisse die Ablagerungen im Kiesbett gut ausgewaschen werden können.

¹¹⁵ Vgl. Weigelt, (1995), S. 57 ff.

Die Ammoniumkonzentrationen überschreiten bei allen drei Proben den Grenzwert der TrinkwV, was auf eine Verunreinigung durch Fäkalien, z.B. durch Vogelkot, hindeutet.

Mit Hilfe des Trocken- und Glührückstands kann abgeschätzt werden, wie hoch der jährliche Schlammanfall sein wird.

▪ **Phosphat**

Die Phosphatgehalte der drei Proben sind im Vergleich zum Kühlwasser außerordentlich gering. Werte unter 0,4 mg/l sind diesbezüglich aus hygienischer und betrieblicher Sicht unbedenklich.¹¹⁶

▪ **Mikrobiologische Verunreinigungen**

Wie zu erwarten war, genügt das Dachablaufwasser den Anforderungen der TrinkwV nur bedingt. Demnach dürfen in 100 ml Trinkwasser keine Coliforme Keime enthalten sein, was aber bei allen Proben der Fall war.

Die Koloniezahl bei 20°C soll den Richtwert von 100 je ml bzw. bei Einzelversorgungsanlagen von 1000 je ml lt. TrinkwV nicht überschreiten. Bei Dachablaufwasser kann, wie die Proben gezeigt haben, diesbezüglich durchaus Trinkwasserqualität erreicht werden. Von den anderen untersuchten Parametern konnten nur im Ziegeldach *Escherichia Coli* und Fäkalstreptokokken und im Kunststoffdach *Pseudomonas* nachgewiesen werden, was auf eine fäkale Verunreinigung hindeutet.

Eine auftretende Verkeimung erscheint dessen ungeachtet sehr unwahrscheinlich, da die Milieubedingungen für Mikroorganismen denkbar ungünstig sind. Der Eintrag der Erreger in die Zisterne wird durch Einwirkung von Licht und Trockenheit auf dem Dach und der Grobfiltration der organischen und anorganischen Stoffe vor der Zisterne reduziert. Die Mikroorganismen sind im Wasser und in aeroben Biofilmen kaum vermehrungsfähig, ebenso wie *Escherichia coli*.¹¹⁷ Neben dem geringen Nährstoffangebot, fehlt auch das Licht im Speicher, die Wassertemperaturen liegen überwiegend unter 20°C und die Verweildauer des Wassers im Speicher ist aufgrund des hohen Verbrauchs nur sehr kurz.

¹¹⁶ Vgl. Bullermann, M. (1989), S. 86

¹¹⁷ Vgl. Lücke, F.-K. (1998), S. 34 f.

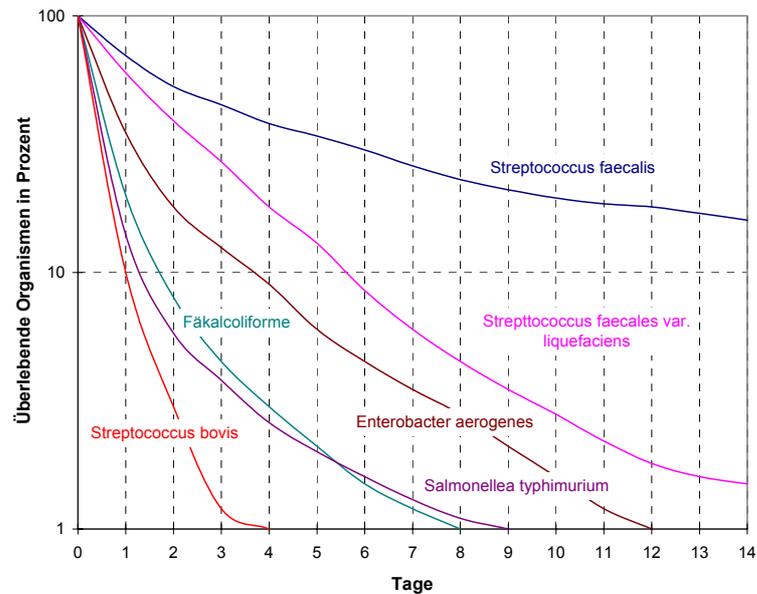


Abbildung 8: Überlebensfähigkeit einiger Fäkalindikatoren in Regenwasser bei 20°C
(in Anlehnung an: Mohrbacher, A. (2001))

Eine Gefahr für den Menschen ist bei der untersuchten Wasserqualität auch unwahrscheinlich. Zudem gelangt das Wasser direkt von der Zisterne zum Kühlturm, wo es frei in die Kühlwasserwanne läuft. Das Wasser darin sieht etwas bräunlich-gelb aus, demzufolge kann man davon ausgehen, dass das Wasser von seinem Nutzer nicht getrunken wird.

3.7 Varianten der Regenwassernutzung und deren Bemessung

3.7.1 Auswahl möglicher Varianten zur Speicherung

Im Sinne einer Ausführbarkeit einer RWNA für das IZD müssen erst einmal rechtliche und organisatorische Fragen geklärt werden.

Wie bereits erwähnt, soll das aufgefangene Niederschlagswasser z. B. als Nachspeisewasser für die Kühltürme verwendet werden. Im Sinne einer kostengünstigen Planung muss man sich also daran orientieren, wo das Wasser aufgefangen werden kann und wo es benötigt wird, um möglichst kurze Leitungswege zu realisieren.

Bevor auf die Varianten näher eingegangen werden kann, muss noch einiges über die Organisation der Kühlung auf dem Institutsgelände erläutert werden.

Auf dem gesamten Institutsgelände befinden sich an fünf verschiedenen Stellen Kühltürme (im FEP Technikum, IWS, IKTS Altbau, IKTS Technikum und IFAM), die bespeist werden sollen. Drei davon (im IWS, IKTS Altbau und IFAM) sind zu einem Kälteverbund zusammen geschlossen, d. h. sie arbeiten gemeinsam an der Geräte- und Freikühlung. Die verbrauchten Wassermengen der einzelnen Kühltürme entspricht daher nicht dem tatsächlichen Wasserverbrauch der entsprechenden Institute.

Der tatsächliche Kühlwasserbedarf lässt sich über die anfallenden Wärmemengen, welche über einen Wärmemengenzähler gemessen werden, ermitteln (siehe Tabelle 29 - Tabelle 31 in

der Anlage I-6). Die Werte beziehen sich ausschließlich auf das Jahr 2000, da aus vorangegangenen Jahren keine vollständige Dokumentation vorliegt.

Für die Variante „RWV Heute“ ist die Kühlwasserverteilung nicht von Bedeutung, da auf dem Gelände nur zwei Speicher untergebracht werden sollen. Der eine Speicher soll ausschließlich die zwei Kühltürme im FEP Technikum mit Wasser versorgen, der andere Speicher die restlichen vier Kühltürme der anderen Institute (siehe Anlage I-9, graphische Darstellung). Diese Konstellation wurde gewählt, weil das FEP Technikum in Bezug auf die Dachentwässerung sehr ungünstig liegt. Die Sammelleitung verlässt das Gebäude im Norden und mündet in einen Mischwasserkanal in Richtung Winterbergstraße. Die Umleitung des Regenwassers in einen zentral gelegenen Speicher für alle Kühltürme würde ca. die gleichen Kosten verursachen, wie der Bau einer eigenen Anlage. Beachtet werden muss in dem Fall auch, dass während der Baumaßnahme die Feuerwehrezufahrt, welche genau dort lang geht, wo die Leitungen verlegt werden sollen, frei bleiben muss. Dieser Speicher soll aus diesen Gründen auch in Variante „Institute Heute“ realisiert werden. Hinzu kommen noch zwei weitere Speicher, einer für die Versorgung des Kühlturms im IWS, der andere für die Kühltürme im IKTS. (siehe Anlage I-11, graphische Darstellung) Für diese Variante ist die Kenntnis des tatsächlichen Verbrauchs jedes Kühlturms von großer Bedeutung, da Überlegungen seitens der Fraunhofer-Gesellschaft bestehen, dass in naher Zukunft der Kälteverbund aufgelöst werden könnte, und jedes Institut für sich selbst die Kühlung übernimmt. Die gesamten Berechnungen beziehen sich auf den derzeitigen Gebäudebestand des Institutszentrums.

In ca. zwei Jahren werden auf dem Institutsgelände Um- und Ausbaumaßnahmen durchgeführt, so dass neue Dachflächen, aber auch neue Kühltürme hinzukommen. Auch für diese neuen Gegebenheiten soll, aufbauend auf den vorangegangenen Varianten, eine Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt werden. Diese Varianten sollen als „RWV Zukunft“ und „Institute Zukunft“ bezeichnet werden.

Dazu wurden die prozentualen Einsparungen des Trinkwassers durch das Dachablaufwasser zu heutigen Gegebenheiten für jede Speichergröße ermittelt und auf die zukünftigen Verhältnisse übertragen. Eine genauere Schätzung konnte nicht vorgenommen werden, da die Verbrauchswerte der neuen Kühltürme derzeit noch nicht bekannt sind. Allerdings dürften die so ermittelten Werte trotzdem den zukünftigen Verbrauch an Dachablaufwasser nahe kommen, da das Regenwasser bzw. der Niederschlag selbst der begrenzende Faktor ist.

Die vorgestellten Varianten werden im Kapitel 4.3 unter Beachtung der Forderung der SE nach einem Speichervolumen von 2 m^3 für 100 m^2 abflusswirksame Fläche berechnet. Bei einer Übereinkunft mit der SE, einen Zähler an den Überlauf zu bauen, müsste man nur die in den Kanal abfließende Regenwassermenge zu einem Preis von $2,91 \text{ DM/m}^3$ (Abwassergebühr in Dresden) entrichten. Die Niederschlagswassergebühr würde in dem Fall für die an die RWNA angeschlossenen Dachflächen entfallen. Die vorausgegangenen vier Varianten („RWV Heute“, „Institute Heute“, RWV Zukunft“, Institute Zukunft“) sollen nun noch einmal unter der neuen Situation hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit für die heutigen und zukünftigen Gegebenheiten analysiert werden.

Zusammenfassend werden noch einmal die beschriebenen Varianten in den Anlage I-8 bis I-11 tabellarisch und graphisch dargestellt.

Bevor es zur Festlegung dieser Varianten kam, wurde noch untersucht, ob es sinnvoll ist, das Wasser aller Dachflächen zu verwenden bzw. alle Kühltürme mit Niederschlagswasser zu speisen. Die dafür untersuchten Varianten befinden sich in der Anlage I-12. Nach der Untersuchung dieser Varianten stellte sich heraus, dass es am ökonomisch sinnvollsten ist, den gesamten Dachabfluss zu nutzen und damit fast alle Kühltürme (außer IFAM) zu versorgen.

Da am Regenwasserverbund drei Institute beteiligt sind, müssen sowohl die Ausgaben, als auch die Einsparungen den einzelnen Instituten, die von der Trinkwassersubstitution profitieren, zugerechnet werden. Sinnvoller Weise kann dies mit Hilfe eines Schlüssels geschehen. Eine derartige Methode wird bereits seit Bestehen der Institute angewendet. Der Schlüssel orientiert sich an der Anzahl der fest eingestellten Mitarbeiter.

IKTS: 107 MA	=	44,77 %
IWS: 107 MA	=	44,77 %
IFAM: 25 MA	=	10,46 %

Die Anwendung dieses Schlüssels erscheint für diesen Fall allerdings nicht besonders geeignet, da er zu Ungerechtigkeiten führt. Aus Tabelle 29 - Tabelle 31 in der Anlage I-6 geht hervor, dass das IKTS insgesamt 3134 m³ Wasser benötigt, das IWS 2221 m³ und das IFAM 24 m³. Diese Verbrauchswerte entsprechen allerdings nicht den obigen Prozentzahlen. Ein neuer Schlüssel, der sich an den verbrauchten Wassermengen orientiert, sieht wie folgt aus.

IKTS: 3134	=	58,26 %
IWS: 2221	=	41,29 %
IFAM: 0,45	=	0,45 %

Das FEP bezahlt seine Anlage selbst, da es alleiniger Nutzer ist.

3.7.2 Speicher

3.7.2.1 Speicherbemessung

Wie bereits in Kapitel 2.5.3 erläutert, ist es sinnvoll bei großen Projekten eine Simulationsrechnung durchzuführen. Dies kann z. B. durch einfache Rechenverfahren oder Computersimulationsrechnungen geschehen.

Am Beispiel des Fraunhofer-Institutszentrums wurde festgestellt, dass sich ein handelsübliches Softwareprogramm wenig eignet, da bei der Berechnung der optimalen Speichergröße die örtlichen Gegebenheiten nur ungenügend berücksichtigt werden können. So verlangt, wie bereits erläutert, z. B. die Stadtentwässerung zur Einsparung der Niederschlagswassergebühr für 100 m² Dachfläche ein Speichervolumen von 2 m³. Wählt man seinen Speicher deutlich kleiner, sind die Investitionskosten zwar geringer, aber man spart weniger Trinkwasser ein und muss deutlich mehr Niederschlagswassergebühren zahlen als bei einem größeren Speicher. Dieser Aspekt kann in einem gängigen Softwareprogramm nicht berücksichtigt werden.

Aus diesem Grund wurde für die Speicherbemessung eine rechnergestützte Simulation entwickelt, die diese Forderung berücksichtigt. Sie basiert darauf, dass man die Niederschlagssummen je Monat und den durchschnittlichen monatlichen Verbrauch der letzten 1 bis 3 Jahre (vom Bestehen des jeweiligen Institutes abhängig) eingibt und eine beliebige Speichergröße annimmt. Es werden dann die aufgefangenen Regenmengen, der Überschuss und das zuge-

speiste Trinkwasser berechnet.¹¹⁸ Die aufgefangenen Regenmengen Q [l] ergeben sich aus der Formel:

$$Q = \psi * A * N$$

ψ – Abflussbeiwert
 A – angeschlossene Dachfläche in m^2
 N – Niederschlagsmenge in mm

Durch Variation der Speichergröße erhält man die jeweils erzielte Einsparung. Diese Daten werden in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen einbezogen und daraus die optimale Speichergröße ermittelt.

Während der Simulationsberechnungen wurde festgestellt, dass die zeitliche Verteilung der Niederschläge nur geringfügig von Interesse ist, da im Sommer ohnehin ein verbrauchsabhängiges Defizit besteht. Auch mit einem unendlich großem Speicher, in dem der gesamte anfallende Niederschlag über die Wintermonate aufgefangen werden könnte, sind keine großen Steigerungen des Deckungsgrades zu erzielen. Deutlich wird dieser Zusammenhang anhand der folgenden Abbildung. Der begrenzende Faktor ist hier die Dachfläche. Der Verbrauch übersteigt die von der Dachfläche abfließende Regenwassermenge um ein Mehrfaches.

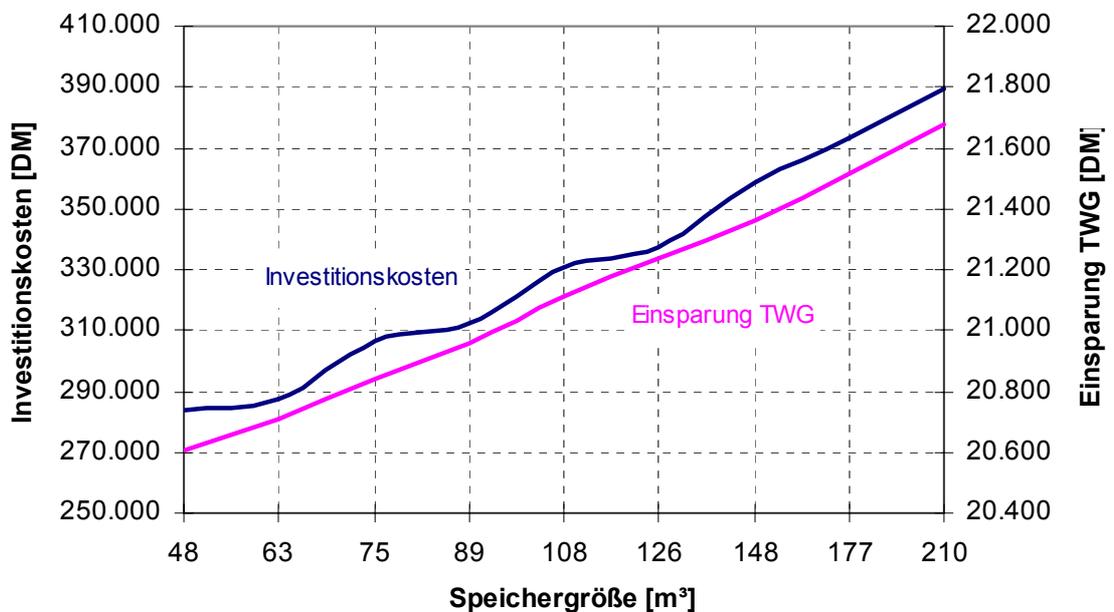


Abbildung 9: Einsparung an Trinkwassergebühr in Abhängigkeit von der Speichergröße, am Beispiel des Speichers „RWV Zähler Zukunft“
(Eigene Darstellung)

Man sieht, dass eine Verdopplung des Speichervolumens nur eine sehr geringe Einsparung an Trinkwassergebühr von ca. 600 DM/a zur Folge hätte, während die Investitionskosten für den Speicher erheblich steigen würden. Die Speichervergrößerung ist somit unwirtschaftlich.

Die wirtschaftlich optimierte Speichergröße beträgt für dieses Beispiel bei heutigen Konditionen ca. 48 m³.

¹¹⁸ Alle Werte sind Durchschnittswerte, gebildet aus den Niederschlagsreihen der Jahre 1980-1989 für die Stadt Dresden. Der Befüllungsgrad des Speichers am Berechnungsbeginn betrug 50 Prozent.

Aus den oben genannten Ergebnissen erscheint auch eine Substitution des WC-Spülwassers nicht als sinnvoll. Es würden nur zusätzliche Investitionskosten entstehen und eine Erhöhung der Trinkwassereinsparung könnte nur in den Wintermonaten realisiert werden.

3.7.2.2 Art, Lage und Kenngrößen

Zum Bau der Zisterne sollten einige Gesichtspunkte beachtet werden.

Aus wirtschaftlichen und planerischen Gründen bieten sich aufgrund der sehr großen Speichervolumina, und der daraus resultierenden Baugrubengrößen, nur zwei Plätze zum Aufstellen der Speicher an. Bei der Wahl anderer Aufstellmöglichkeiten muss ein Baugrubenverbau vorgenommen werden, was die Baukosten erhöhen würde. Außerdem benötigt man einen gewissen Arbeitsplatz für das Krangestell, zum Versetzen der Speicherteile bei Segmentbauweise, bzw. Arbeitsplatz beim Bau des Behälters aus Ortbeton. Hinzu kommt, dass auf den meisten Freiflächen des Institutsgeländes in den kommenden Jahren An- und Neubauten geplant sind.

Bei der Konzeption muss ebenso beachtet werden, dass die Behälter zentral bzw. günstig gelegen sind, damit die Kosten für das Verlegen des Rohrleitungssystems nicht übermäßig in die Höhe steigen.

Im Folgenden sollen noch einmal die für die Liegenschaft sinnvollen Möglichkeiten der Speicherung kurz erläutert werden.

▪ **Stahlbetonbehälter in Segmentbauweise**

Die Segmente des Behälters werden angeliefert und versetzt. Der Einbau erfolgt in der Regel innerhalb weniger Stunden. Durch aneinander reihbare Segmente lassen sich Speichergrößen bis 1000 m³ realisieren.¹¹⁹

▪ **Behälter aus Ortbeton**

Der Bau des Behälters wird vor Ort durchgeführt. In diesem Fall spart man die Transportkosten ein, hat jedoch dafür mit höheren Lohnkosten und einer wesentlich längeren Bauzeit zu rechnen.

▪ **Regenwassertanks aus Stahl**

Der Stahlbehälter wird angeliefert und versetzt. Der Einbau erfolgt ebenfalls in kürzester Zeit. Es sind jedoch nur Speichergrößen bis 100 m³ erhältlich.

▪ **Nutzen vorhandener Speicher**

Auf dem Gelände befinden sich zwei alte Speicher, die als Neutralisationsbecken genutzt wurden. Aufgrund des Alters und der Kontaminierung mit giftigen chemischen Substanzen wird von einer Nutzung dieser Speicher abgesehen.

Die Wahl der Speichermöglichkeiten „Stahlbetonbehälter in Segmentbauweise“ und „Regenwassertank aus Stahl“ wäre besonders bei hohen Grundwasserständen sinnvoll, da geringe

¹¹⁹ Vgl. MALLBETON (Hrsg.) (2001), S. 13

Kosten für die Wasserhaltung durch die kurzen Einbauzeiten entstehen. Diesbezüglich bestehen für das IZD jedoch keine Bedenken, da laut geotechnischem Gutachten der mittlere Grundwasserstand MGW bei 6 m unter GOK liegt.¹²⁰

3.7.3 Filterung

Die Filterung des Dachablaufwassers erfolgt mittels eines zentralen Filterschachtes für Großanlagen. Diese Variante erscheint für die Liegenschaft am sinnvollsten, da lediglich jedem Speicher ein Filter vorgeschaltet wird. Bedenkt man, dass alleine das FEP Technikum 16 Dacheinläufe besitzt, wo bei einer dezentralen Filterung jeder einzelne mit z. B. einem WirbelfeinfILTER für ca. 800 DM (ohne Einbau) eingebaut werden müsste, ergeben sich bereits Kosten in Höhe von 12.800 DM. Ein Filterschacht dagegen bereitet beim Einbau und bei der Wartung weniger Umstände und kostet für diesen Fall nur 5.775 DM. Der grundsätzliche Aufbau und die Funktionsweise des Filterschachts wurde bereits in Kapitel 2.6.1 erläutert und soll hier nicht noch einmal behandelt werden.



Abbildung 10: Filterschacht

(fotografiert am 22.02.2001 in Goppeln von Bölder, C.)

Bei den Speichern „RWV Zukunft“ und „RWV Zähler Zukunft“ liegt die abflussreduzierte Dachfläche für den Filter weit über der maximal anschließbaren Dachfläche von 5.000 m². In diesem Fall ist es notwendig, um eine gute Filterleistung zu erzielen, einen weiteren Filter einzubauen. Außerdem hat der Zulauf des Filters nur einen Durchmesser von DN 250, welcher bei einer Bemessung der Entwässerungsleitungen nach DIN 1986 nicht ausreichen würde. Der Filter könnte das vom Dach abfließende Wasser nicht schnell genug in den Speicher leiten. Somit muss die Forderung nach einem weiterem Filter ohnehin erfüllt werden. Die angeschlossenen Dachflächen für die einzelnen Filter sind im Anhang I-10 dargestellt. Eine zusätzliche Reinigungswirkung wird durch die bereits bestehende Laubfangkörbe auf dem gesamten Institutsgelände erzielt.

Über den Wartungsintervall für die Filter kann derzeit noch keine konkrete Aussage getroffen werden. Mit Hilfe des Trockenrückstandes kann allerdings ungefähr abgeschätzt werden, wie hoch die anfallende Schlammmenge sein wird. Bei einem über die angeschlossenen Dachflächen gewichteten Trockenrückstand von 39,7 mg/l und einer nutzbaren Wassermenge von ca. 3.540 m³ würde sich ein jährlicher entwässerter Schlammanfall von 141 kg ergeben.¹²¹ Bei ei-

¹²⁰ Fraunhofer-Gesellschaft (Hrsg.) (1995), S. A 7

¹²¹ Werte beziehen sich auf den Filter 1 vor dem Speicher „RWV Zähler Zukunft“

nem angenommenen Trockensubstanzgehalt des Schlammes von 30 bis 50 g/l fallen damit ca. 2,8 bis 4,7 m³ Schlamm pro Jahr an.¹²² Diese Menge verbleibt nicht allein im Filter, sondern verteilt sich je nach Größe der Schmutzpartikel im Filter, in der Zisterne und in der Kühlwasserwanne. Bestätigt sich dieser Wert nach Inbetriebnahme der Anlage, ist eine halbjährliche bis jährliche Reinigung des Filters durch Absaugen des Schlammes ausreichend. Zu empfehlen wäre am Anfang dennoch eine vierteljährliche Sichtkontrolle, um den Verschmutzungsgrad festzustellen und dementsprechende Reinigungsmaßnahmen einzuleiten.

3.7.4 Rohrleitungssystem, Speicherzu- und überlauf

Bei der bestehenden Dachentwässerung wurde Zink als Werkstoff gewählt, dies wird sich auch bei den Neu- und Anbauten fortsetzen. Die Sammelleitungen, in welche die Falleitungen entwässern, bestehen aus ökologischen Gründen überwiegend aus Steingut. Aus finanziellen Gründen wäre allerdings Kunststoff oder Beton mit einer Beschichtung vorzuziehen.

Der Speicherzu- und -überlauf wird bereits werksseitig mitgeliefert. Das Rohrleitungsmaterial hierfür ist Kunststoff. Der Überlauf muss auf dem Institutsgelände zum Teil noch sehr weit bis zu den bestehenden Entwässerungsleitungen verlegt werden. Es empfiehlt sich hierfür, wegen des unkomplizierteren Anschlusses, ebenfalls Kunststoff zu verwenden.

Die Dimensionierung des Rohrleitungsnetzes erfolgt nach der DIN 1986 für Gebäude und Grundstücksentwässerung. Darin werden z.B. die Bemessung und das Verlegen von Entwässerungsleitungen, die Anforderungen an Lüftungsleitungen sowie die Sicherung der Entwässerungsanlagen gegen Rückstau vorgeschrieben.

Für das Leitungsnetz, in welchem das Regenwasser von der Zisterne zum Kühlturm transportiert wird, können prinzipiell alle Werkstoffe, die auch für Trinkwasser benutzt werden und hinreichend korrosionsfest sind, verwendet werden. Beim Regenwasser ist jedoch zu bedenken, dass sich aufgrund des geringen Calciumgehaltes keine Schutzschicht auf der Innenwandung metallischer Rohre legt. Daher wird empfohlen, Kunststoff- oder auch Edelstahlrohre zu verwenden. Letztere sind aus finanzieller und ökologischer Sicht nachteilig zu beurteilen. Sie sind teurer und der Primärenergieaufwand zur Herstellung von Edelstahl ist sehr hoch.¹²³

Da Regenwasser nach DIN 1988 in die „Gefahrenklasse 5“ eingestuft wurde, darf es auf gar keinen Fall eine direkte Verbindung zwischen dem Regenwasser- und Trinkwassernetz geben. Besonders zu beachten ist diese Vorschrift bei der Gestaltung der Nachspeisung. Die Kennzeichnung der Entnahmestellen und Rohrleitungen muss nach DIN 4844 Teil 1 mit einem Schild: „Kein Trinkwasser“ oder einem runden Verbotsschild erfolgen. Bei der Leitungsverlegung im Mauerwerk müssen entsprechende Rohrleitungsbänder eingelegt werden.¹²⁴

3.7.5 Möglichkeiten der Trinkwassernachspeisung

Trinkwasser kann bei der RWNA für das IZD an zwei verschiedenen Stellen nachgespeist werden. Die erste Möglichkeit wäre die Nachspeisung direkt in die Zisterne (heute nicht mehr übliches Verfahren). Bei der zweiten Möglichkeit wird in die Wanne des Kühlturms, welche als Zwischenspeicher bezeichnet werden kann, nachgespeist.

¹²² Vgl. Bullermann, M. (1996), S. 99

¹²³ Vgl. König, K. W. (1996), S. 124

¹²⁴ Vgl. Zeiser, J. (1998), S. 69

Die Trinkwassernachspeisung erfolgt immer bei Unterschreitung des minimalen Füllstandes des Speichers. Bei der Nachspeisung in den Zwischenspeicher wird genau die momentan benötigte Menge an Trinkwasser nachgespeist. Erfolgt die Nachspeisung in die Zisterne, so wird sie bis zum angegebenen Nachspeisefüllstand aufgefüllt, unabhängig vom angefragten Verbrauch. Aus diesem Grund wird die Realisierung der zweiten Möglichkeit empfohlen.

Wird in den Zwischenspeicher nachgespeist, so muss zwischen einer Nachspeisung von Regenwasser und von Trinkwasser unterschieden werden. Fällt im Zwischenspeicher der Füllstand unter den minimalen Füllstand, so wird versucht Regenwasser aus dem Speicher, bis zum angegebenen Nachspeisefüllstand aufzufüllen. Kann aus der Zisterne wegen Unterschreitung des dortigen minimalen Füllstandes kein Wasser mehr entnommen werden, so muss eine Nachspeisung von Trinkwasser, ebenfalls bis zum angegebenen Nachspeisefüllstand im Zwischenspeicher erfolgen. Diese Regelung erfolgt automatisch mittels Füllstandsmesser (LIS – Liquid Indicator System) in der Zisterne und im Zwischenspeicher.

Das Anlagenschema zur Nachspeisung und Nutzung des Regenwassers wird durch die nachfolgende Abbildung verdeutlicht.

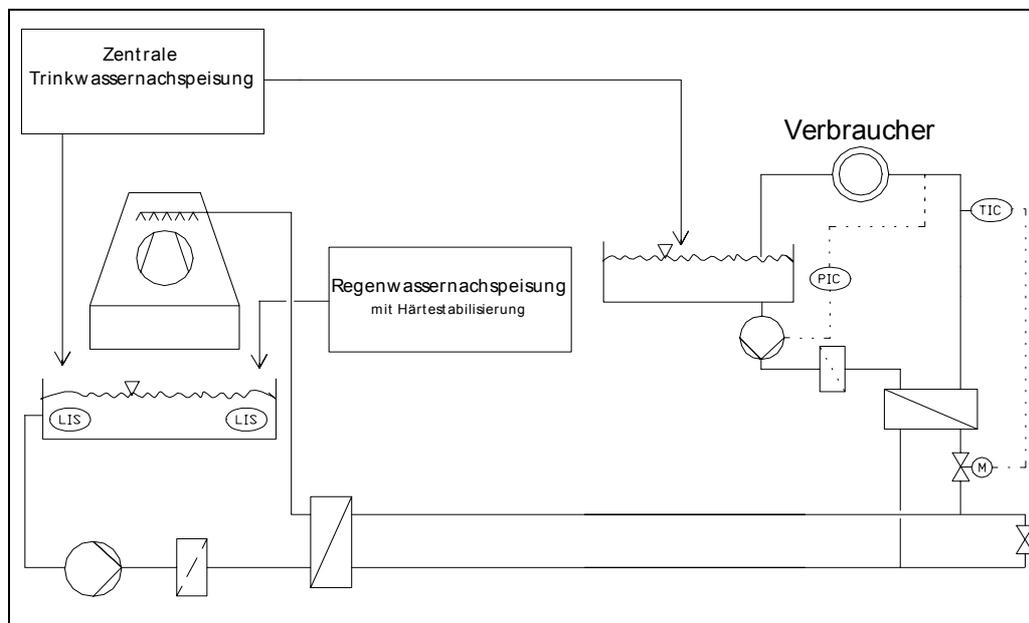


Abbildung 11: Möglichkeit der Trinkwasser- bzw. Regenwassernachspeisung

(Eigene Darstellung)

Die Regelungstechnik wird durch eine Fachfirma installiert und in die bestehende Leittechnik der Liegenschaft integriert, so dass sehr schnell auf Störungen beim Betrieb der Anlage reagiert werden kann. Die Regelungstechnik für die gesamte RWNA kostet ca. 15.100 DM, beinhaltet aber zusätzlich die Kontrolle und Regelung der Pumpen.

Die Wartung der Regelungs- und Leittechnik erfolgt einmal pro Jahr und wird nach Datenpunkten im Leittechnikprogramm abgerechnet.

3.7.6 Pumpendimensionierung

Die Auswahl der Pumpen kann mit Hilfe eines Dimensionierungsprogramms, welches bei verschiedenen Pumpenherstellern erhältlich ist, erfolgen.

Bei der Auswahl muss darauf geachtet werden, dass sich die Pumpe gut in die Gegebenheiten einfügt. Sinnvoll wären demnach für das IZD vertikale normalsaugende Kreiselpumpen, da diese bei großen und stark wechselnden Bedarfsmengen zum Einsatz kommen.¹²⁵ Weiterhin wurde bereits in Kapitel 2.5.6 festgestellt, dass Tauchpumpen effektiver sind, als Saugpumpen. Zudem verursachen sie auch innerhalb des Hauses keine Geräusche und müssen nicht entlüftet werden, da es keine Saugleitung gibt.¹²⁶

Nachdem diese Vorauswahl getroffen wurde, muss zur weiteren Berechnung die Fördermenge und der maximal mögliche Druck, bzw. die Förderhöhe, beachtet werden.

Bei den in Kapitel 3.7.1 vorgestellten Varianten werden teilweise aus einem Speicher mehrere Kühltürme bespeist. In dem Fall wird nur eine Pumpe verwendet, die in einem Verteilersystem arbeitet. Wird die Füllstandsanzeige im Zwischenspeicher unterschritten, öffnet sich das Magnetventil automatisch, die Pumpe springt an und fördert das Regenwasser in den Zwischenspeicher. Beachtet werden muss hierbei, dass im ungünstigsten Fall alle Kühltürme gleichzeitig Wasser benötigen, dementsprechend hoch muss dann die Fördermenge gewählt werden. Eine Druckerhöhungsanlage ist für die vorliegenden Gegebenheiten nicht notwendig, da kein Verbraucher, wie z.B. ein Hochdruckreiniger, an die Anlage angeschlossen ist, der zum einwandfreien Betrieb einen bestimmten Versorgungsdruck benötigt. Das Wasser kann in diesem Fall mit niedrigem Druck über einen freien Auslauf in den Zwischenspeicher fließen.

Die Kenndaten zur Dimensionierung der Pumpe für den Speicher des FEP Technikums setzen sich wie folgt zusammen:

- Fördermenge für den Kühlturm 0,5 - 1 l/s
- Geodätische Höhe ca. 15m
- Verlusthöhe mit Hilfe eines Dimensionierungsprogramms berechnet: ca. 10m
- → Gesamtförderhöhe $H = 25$ m

Analog dazu können die Pumpen für die anderen Speicher berechnet werden.

Zur höheren Betriebssicherheit könnte man zwei baugleiche Pumpen parallel installieren, welche automatisch alternierend betrieben werden, so dass eine gleichmäßige Abnutzung erfolgt und bei einem Defekt automatisch die jeweils andere in Betrieb gehen kann. Damit erhöhen sich allerdings die Investitions- und Wartungskosten, außerdem ist durch die installierte Regelungstechnik eine sofortige Trinkwassernachspeisung bei Ausfall der Regenwasserzufuhr gewährleistet. Aus diesem Grund wird von einer Installation einer parallel betriebenen Pumpenanlage abgesehen.

3.8 Darstellung der Regenwassernutzungsanlage

Die vorangegangenen Ergebnisse sollen noch einmal in einem Fließschema für die RWNA zusammengefasst werden.

¹²⁵ Vgl. König, K. W. (1996), S. 121

¹²⁶ Vgl. Pagel, R. (1999), S. 46

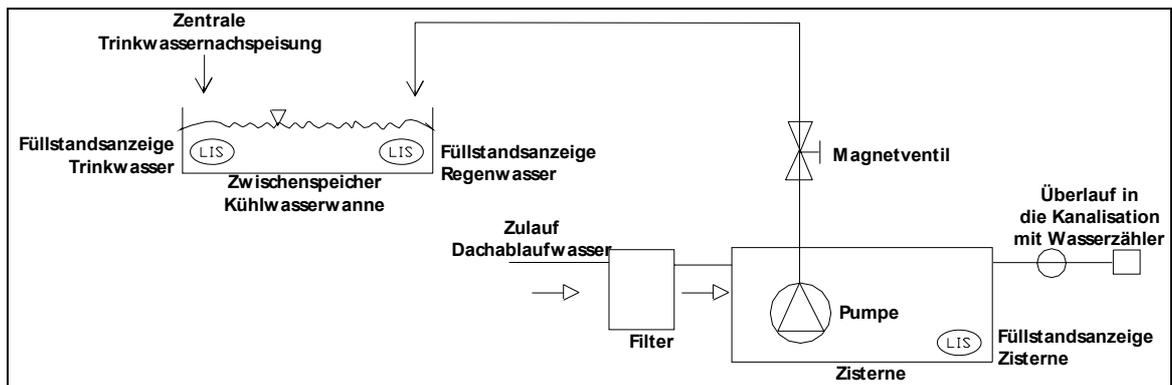


Abbildung 12: Fließschema der RWNA für das Fraunhofer IZD

(Eigene Darstellung)

Das Dachablaufwasser fließt in einen zentralen Filterschacht, von dort über einen strömungsberuhigten Zulauf in den Regenwasserspeicher. Eine Pumpe fördert das Wasser in die Kühlwasserwanne. Die Anlagensteuerung sorgt dafür, dass der minimale Füllstand in der Zisterne nicht unterschritten wird, damit der Trockenlaufschutz der Pumpe gewährleistet ist. Die Regelung der Trinkwassernachspeisung erfolgt ebenfalls mittels Füllstandsmesser, bei Unterschreitung eines bestimmten Niveaus erfolgt die Nachspeisung in den Zwischenspeicher.

3.9 Weitergehende Maßnahmen zur Regenwassernutzung

3.9.1 Versickerung als Ergänzung der Regenwassernutzung

Wie bereits erwähnt, besteht in Dresden die Möglichkeit durch die RWN 90 % der Niederschlagswassergebühren einzusparen, wenn der Überlauf in die Kanalisation geleitet wird. Durch eine Kombination der RWN mit einer Versickerung lassen sich die restlichen 10 % der Gebühr einsparen.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil entsteht durch die Abkopplung des Überlaufs der RWNA vom öffentlichen Kanalnetz. Bei der Planung muss die Höhenlage der Kanalisation nicht mehr berücksichtigt werden, dadurch ergeben sich mehr Freiheiten bei der Planung. Zudem entfällt die notwendige Sicherung der Anlage gegen Rückstau aus dem Kanal.

Kombinationen aus Regenwassernutzungs- und Versickerungsanlagen setzen sich in der Regel aus einem vorgeschalteten Regenwasserspeicher und einer nachgeschalteten Versickerungsanlage zusammen. Im Folgenden werden beispielhaft Ausführungsvarianten dargestellt.

Regenwassernutzung mit nachgeschalteter Versickerungsmulde

Das nicht nutzbare Überlaufwasser des Regenwasserspeichers wird einer flachen Versickerungsmulde zugeführt. Vorteilhaft ist die einfache Bauausführung, die Versickerung über eine belebte Bodenschicht, die Möglichkeit zur Versickerung auch bei hohen Grundwasserständen sowie die Wartungsfreundlichkeit. Voraussetzungen sind ein ausreichendes Platzangebot und geeignete Geländeverhältnisse.

Regenwassernutzung mit nachgeschalteter Rohrrigole

Das Überlaufwasser des Regenwasserspeichers wird einer Versickerungsrigole zugeführt. Rigolen sind mit Schotter oder Kies gefüllte und mit Boden überdeckte Körper. Sie werden eingesetzt, wenn die Flächen zum Bau einer Mulde nicht ausreichen oder der Speicherüberlauf zu tief unter dem Gelände liegt.

Der Nachteil dieser Variante besteht darin, dass keine Wartungsmöglichkeit besteht.¹²⁷

Regenwassernutzung mit nachgeschaltetem Versickerungsschacht

Bei der Schachtversickerung wird das Überlaufwasser einem Schacht zugeführt, dessen Wände durchlässig sind. Das Wasser wird gespeichert und kann langsam in den Untergrund versickern. Durch die konzentrierte Einleitung ergibt sich eine lokale Erhöhung des Grundwasserspiegels, deshalb sollte zu Gebäuden ein Mindestabstand von 6 m und zwischen den Schächten von 10 m eingehalten werden.¹²⁸

Die Schachtversickerung ist bei beengten Platzverhältnissen, mit mäßig bis gut durchlässigem Untergrund sinnvoll. Auch hier ist die Wartung schwierig und die Anlage außerdem relativ teuer.

Nachfolgend sind Kostenangaben zum Bau von Versickerungsanlagen aufgeführt. Die Werte stellen lediglich Durchschnittswerte dar, die in Abhängigkeit von Faktoren wie Art und Größe des Bauprojektes, Lage, Befestigungsgrad, hydrogeologischer Zustand des Baugrundes stark variieren können.

	Spezifische Gesamtbaukosten [DM/(m ² A _{red})]	Betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer [a]
Mulde		15 – 30 Ø 22,5
Rohrrigole	Ø 10,0	20 – 30 Ø 26,4
Sickerschacht	20,0 – 40,0 Ø 30,0	15 – 50 Ø 31,5

*Tabelle 7: Spezifische Baukosten und betriebsgewöhnliche Nutzungsdauern von Versickerungsanlagen
(in Anlehnung an Landeshauptstadt Dresden (Hrsg.) (1999), S. 20 f.)*

Die Dimensionierung einer solchen Versickerungsanlage erfolgt nach ATV 138. Zuvor muss jedoch sichergestellt werden, dass sich der Standort für eine Versickerung eignet, dabei müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden.

Idealerweise lässt man ein Versickerungsgutachten erstellen, worin die Möglichkeiten einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung beschrieben werden und die Durchlässigkeit des Bodens bestimmt wird. Die Versickerungsfähigkeit des Bodens entscheidet über die Wahl des

¹²⁷ Vgl. fbr (Hrsg.) (2000)

¹²⁸ Vgl. Ingenieurbüro Breidenbach & Eggers (Hrsg.) (2000), S. 7

Entwässerungsverfahrens und die Art und Größe der entsprechenden Anlagen. Einer möglichst genauen Ermittlung der Durchlässigkeit kommt daher unter den Gesichtspunkten einer technischen und ökonomisch optimierten Planung entscheidende Bedeutung zu.¹²⁹ Eine Untersuchung der Bodendurchlässigkeit für das Fraunhofer-Institutszentrum würde in einer Größenordnung von ca. 5000 DM liegen. Der Umfang der Leistungen besteht aus den Probenahmen auf dem Gelände, der bodenmechanischen Untersuchung und der Auswertung sowie Bewertung der Ergebnisse.

Für das IZD kommt aufgrund des tiefliegenden Überlaufs nur die Versickerung mit Hilfe einer Rohrrigole oder eines Versickerungsschachtes in Frage. Aufgrund der niedrigeren Investitionskosten (siehe Tabelle 7) wäre die Rohrrigole vorzuziehen. Die Kosten liegen durchschnittlich bei $10 \text{ DM/m}^2 A_{\text{red}}$, damit ergeben sich bei der Nutzung fast aller Dachflächen Investitionskosten von ca. 85.000 DM. Demgegenüber stehen Einsparungen von jährlich knapp 1.800 DM. Der Aufwand für die Versickerung scheint daher nicht gerechtfertigt, selbst bei steigender Niederschlagswassergebühr in den nächsten Jahren wird die Amortisationsdauer nicht viel attraktiver.

Von einer Versickerung des Niederschlagswassers der viel befahrenen Park- und Wegeflächen ist aufgrund der Verschmutzung abzuraten. Die Regenwasserversickerung darf nicht zur Grundwasserverschmutzung führen, aus diesem Grund darf nach dem Arbeitsblatt 138 der Abwassertechnischen Vereinigung (ATV) nur „nicht schädlich verunreinigtes Regenwasser“ zur Versickerung gelangen.¹³⁰

3.9.2 Brunnenanlage

Um das verbrauchsabhängige Defizit im Sommer auszugleichen, ist es möglicherweise sinnvoll eine Brunnenanlage zu installieren. Während das Regenwasser im Sommer nur einen Teil des Wasserbedarfes deckt, bietet der Einsatz von Brunnenwasser die Möglichkeit, den gesamten Wasserbedarf abzudecken. Beachtet werden muss dabei die Einholung einer wasserrechtlichen Erlaubnis, welches in den Paragraphen 2, 3 und 7 des Wasserhaushaltsgesetzes geregelt ist.¹³¹ Erhält man die Erlaubnis zur Grundwassernutzung ist die Entnahme bis $2000 \text{ m}^3/\text{a}$ kostenfrei, liegt die Menge darüber muss man je nach Verwendungszweck eine geringe Gebühr für die gesamte Entnahme zahlen. Bei einer Verwendung des Grundwassers für Kühlzwecke beträgt diese Gebühr $0,15 \text{ DM/m}^3$.¹³²

Die Kosten eines hierfür notwendigen Bohrbrunnens und der dazu notwendigen Pumpe liegen insgesamt bei ca. 8.600 DM¹³³. Bei geringen Betriebs- und Wartungskosten lassen sich nahezu 6.700 DM/a, was einer Menge von ca. 1.700 m^3 Trinkwasser entspricht, einsparen. Eine solche Anlage würde sich schätzungsweise nach 2 Jahren amortisiert haben.

Die Brunnenanlage speist hauptsächlich im Sommer Grundwasser in den Regenwasserspeicher ein. Die Menge wird dabei durch einen Füllstandsanzeiger kontrolliert, damit bei einem Regenereignis noch ausreichend Speichervolumen für das Dachablaufwasser vorhanden ist. An der weiteren Anlagentechnik ändert sich nichts.

¹²⁹ Vgl. Londong, D. (1999), S. 102

¹³⁰ Vgl. Akkermann, M. H.; Gieska, M. (1999), S. 114

¹³¹ Vgl. Stadtverwaltung Dresden (2001)

¹³² Vgl. Sächsisches Wassergesetz (1994), Anlage 2

¹³³ Angaben von Brunnenbauer

Nachteilig bei dieser Möglichkeit ist die jederzeit mögliche Rücknahme der wasserrechtlichen Erlaubnis. Nach einer diesbezüglichen Übereinkunft mit der Stadtverwaltung, könnte die Versorgung der Kühltürme mit Brunnenwasser auch in Zukunft eine preiswerte Ergänzung oder auch Alternative zur RWN sein, selbst wenn die Gebühren für die Wasserentnahme aus dem Grundwasser steigen sollten.

Die Wirtschaftlichkeit der RWNA in Kombination mit einer Brunnenanlage soll ebenfalls als mögliche Variante („RWV Brunnen, „Institute Brunnen“) in Kapitel 4.1 untersucht werden (siehe Anhang I-8). Allerdings ist hier nur eine Analyse unter heutigen Gegebenheiten möglich, da der zukünftige Verbrauch der neuen Kühltürme derzeit nicht bekannt ist.

3.9.3 Wärmepumpen

Im Hinblick auf die energiepolitischen Ziele von Bund und Ländern,

- den Zuwachs des Primärenergieverbrauchs zu begrenzen und
- den Mineralölanteil an der Energieversorgung zurückzudrängen,

steht die Wärmepumpe in der ersten Reihe der Alternativen zur konventionellen Wärmeversorgung. Dabei ist die Wärmequelle Wasser der Wärmequelle Luft energetisch überlegen.¹³⁴ Aus diesen Gründen wird der verstärkte Einbau von Wärmepumpen propagiert und finanziell (z. B. in Sachsen) gefördert.

Nachfolgend soll erst einmal die Funktionsweise einer Wärmepumpe erläutert werden, bevor die Einbindung in die RWNA beschrieben wird.

Die Wärmepumpe arbeitet nach dem Prinzip des Kühlturms (Kompressor-Verfahren). Eine Wärmequelle, z. B. Wasser oder Luft, wird an einem Wärmetauscher abgekühlt. Als Kühlmittel verwendet man bei Wärmepumpen meist Wasser, Ammoniak, Lithiumbromid oder chlorfreie Kohlenwasserstoffe, die geruchlos und ungiftig sind. Der Kältemitteldampf wird aus dem Verdampfer abgesaugt und im Verdichter unter Druck gebracht. Er erhöht seine Temperatur im Verflüssiger (Kondensator) und kann dann Wärme abgeben. Bei diesem Vorgang muss nur die für den Verdichter (Kompressor) erforderliche Energie zugeführt werden.¹³⁵

Anwendung finden Wärmepumpen:

- in der Kombination von Kühlen und Heizen, z. B. in Industriebetrieben
- in der Warmwasserbereitung
- in der Klimatisierung und Beheizung von Verwaltungsgebäuden, Wohnhäusern und Schwimmbädern.¹³⁶

¹³⁴ Vgl. Glatzel, W.-D.; Heise, K.-D. (Hrsg.) (1980), S. V

¹³⁵ Vgl. Springer, G. (1989), S. 418

¹³⁶ Vgl. Müller, W.; u. a. (1993), S. 246

Diese oder ähnliche Anwendungsmöglichkeiten sind auch für das Fraunhofer-Institutszentrum denkbar. Hier soll die Wärmequelle das Regenwasser sein, dem die Energie entzogen werden soll. Da im Sommer jedoch ein bedarfsbedingtes Defizit besteht und sich daher nur selten ausreichend Regenwasser in der Zisterne befindet, ist eine Wärmepumpe nur in Kombination mit einer Brunnenanlage und einem abgetrennten Speicher möglich. Das entnommene Grundwasser müsste in den Speicher gepumpt werden, wo dem Wasser durch den Verdampfer die Energie entzogen wird und sich somit abgekühlt. Die tägliche Wasserentnahme der Kühltürme sorgt dafür, dass dem Speicher ständig neues Wasser zugeführt wird und somit eine zu große Abkühlung vermieden wird.

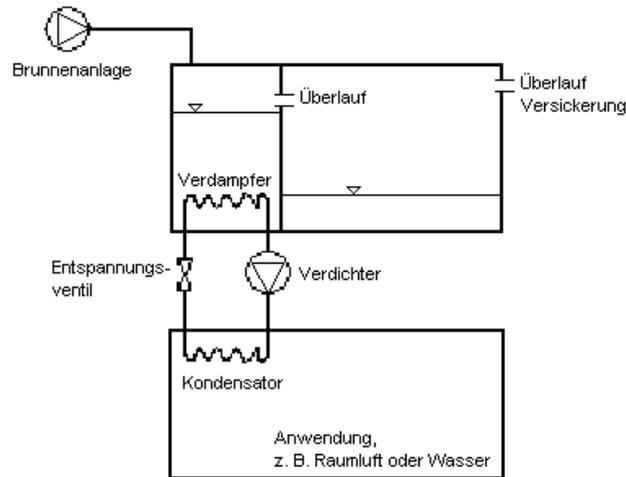


Abbildung 13: Fließschema Wärmepumpenanlage
(Eigene Darstellung)

4 Wirtschaftlichkeitsnachweis

4.1 Kriterien der Wirtschaftlichkeit

1. Hoher Deckungsgrad, das heißt hoher Anteil bei der Trinkwassereinsparung

Dieses Kriterium wurde mit Hilfe der erstellten Simulation realisiert. In manchen Fällen führt aber nicht unbedingt eine Vergrößerung des Speichers zur Optimierung des Deckungsgrades, sondern es belastet nur unnötig die Investitionen, ohne die Rentabilität weiter zu steigern. Falls der Bedarf den Regenertrag langfristig übersteigen sollte, wie es im IZD der Fall ist, sollte darüber nachgedacht werden, eventuell die Dachflächen benachbarter Gebäude anzuschließen. Davon profitieren beide, der Betreiber der RWNA durch Erhöhung des Deckungsgrades und der Nachbar durch Einsparung der Niederschlagswassergebühr für seine Dachflächen.

2. Hohe Nutzungsdauer der Anlagenbestandteile

Bis auf die elektrischen Anlagenbestandteile haben alle Komponenten der RWNA nach der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) eine Lebensdauer von ca. 50 Jahren. Um eine möglichst lange Lebensdauer bei den Pumpen und der Regelungstechnik zu realisieren, sollte hier keine billigen (minderwertigen) Fabrikate verwendet werden. Anders bei den Rohrleitungssystemen, da bei der RWN keine hohen Anforderungen an Druck- und Temperaturresistenz gestellt werden, können hier auch preiswertere Materialien zum Einsatz kommen.¹³⁷

3. Niedrige Investitionskosten

Einsparungen erfolgten für das IZD durch die Ausklammerung der Anlagenteile, die der konventionellen Niederschlagsentwässerung zugerechnet werden können. So wurden die Fall- und Sammelleitungen und die Schächte der zukünftig geplanten An- und Neubauten nur soweit eingerechnet, wie es für die RWN erforderlich ist. Um weitere Kosten zu sparen, wurden so weit das möglich war, bestehende Entwässerungsanlagen in die RWNA integriert. (siehe Farbdifferenzierung in den graphischen Darstellungen, Anlagen I-9 bis I-11)

Durch eine Optimierung der Speichergröße und dem dazugehörigen Aushub und Kiesbett lassen sich die Investitionskosten weiterhin reduzieren.

Von der gesamten Investitionssumme wurden 3 % Skonto und 3 % Preisnachlass abgezogen. Skonto wird auf Zahlung der Rechnungssumme innerhalb einer bestimmten Frist gewährt, der Preisnachlass wird von den meisten Firmen gegeben, wenn sie alle Punkte der Ausschreibung durchführen. Die Spanne der bisher gewährten Preisnachlässe für das IZD lagen zwischen 3 – 18 % der Auftragssumme.

4. Niedrige Betriebskosten für Energie und Instandhaltung

Beachtet werden sollte grundsätzlich die Verwendung wartungsarmer Filter, dazu gehört auf jeden Fall der Verzicht auf einen Feinfilter. Die Pumpen- und Anlagentechnik sollte ebenfalls nicht zu störanfällig sein, um häufige Reparaturen zu vermeiden.¹³⁸

¹³⁷ Vgl. König, K.-W. (1996), S. 29

¹³⁸ Vgl. König, K. W. (1996), S. 26 ff.

4.2 Grundlagenermittlung für den Wirtschaftlichkeitsnachweis

In den nachfolgenden Kapiteln sollen alle zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung notwendigen Grundlagen (Kosten, zukünftige Ausgaben, Einsparungen und Preisentwicklungen) beschrieben werden. Alle Angaben sind Netto-Preise, d. h. ohne MwSt., da die Fraunhofer-Gesellschaft vorsteuerabzugsberechtigt ist. Nach § 15 des Umsatzsteuergesetzes gehört die Vorsteuer demnach nicht zu den Anschaffungs- oder Herstellungskosten der RWNA.¹³⁹

4.2.1 Kosten- und Ausgabenschätzung

4.2.1.1 Kosten der RWNA

Die Investitionskosten ergeben sich aus den Kosten für alle Komponenten, Montage und Inbetriebnahme der Anlage. Demnach können folgenden Bestandteile für die RWNA aufgelistet werden:

Anlagenkomponenten	Kosten ¹⁴⁰
Speicher	Abhängig von der Größe des Speichers 13.172 DM – 108.000 DM
Krangestell für Abladen des Speichers	4.750 DM Festpreis pro Behälter
Erdarbeiten	Abhängig von der Größe des Speichers/Filter
Kiesbett	Abhängig von der Größe des Speichers/Filter
Filter	Abhängig von der Dachfläche A_{red} 5.775 DM - 12.285 DM
Krangestell zum Abladen des Filters	Abhängig von der Größe des Filters bis 4.750 DM
Leitungssystem zur Zisterne	Befestigte Flächen 350 DM/m Gepflasterte Flächen 300 DM/m Unbefestigte Flächen 200 DM/m Offene Flächen 150 DM/m
Schächte	4.000 DM/Schacht
Leitungssystem zum Kühlturm	25 DM/lfd. m
Überlauf	wie Leitungssystem zur Zisterne
Pumpe inklusive Anlagentechnik	15.100 DM für die Anlagentechnik Pumpe FEP/IWS 563 DM Pumpe RWV/IKTS 820 DM

Tabelle 8: Kostenbestandteile der Regenwassernutzungsanlage

(Eigene Darstellung)

Die Anlagekosten werden in erheblichem Umfang von der Größe des Tanks, Aushub, Kiesbett und dem Rohrleitungssystem zur Zisterne bestimmt. Die Kosten für den Speicher und die von

¹³⁹ Vgl. EStRecht (1996), EStG 4a. § 9b

¹⁴⁰ Preisangaben verschiedener Firmen und Ingenieurbüros

seiner Größe abhängigen Kosten können optimiert werden. Die Auswahl der Speichergröße unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist in Kapitel 4.2 beschrieben.

4.2.1.2 Zukünftige Ausgaben

Die zukünftigen Ausgaben bzw. Betriebskosten setzen sich aus Kosten für Strom, Wartung und Instandsetzung der RWNA zusammen. Zur Ermittlung der Instandhaltungskosten wurde sich an den Angaben der Hersteller und bestehenden Wartungsverträgen des Fraunhofer-IZD orientiert. Unter diesen Gesichtspunkten ergaben sich folgende Kosten.

Komponente	Kosten	Wartungsintervall
Speicher	1.000 – 1.900 DM	5 Jahre
Filter	425 – 540 DM	Jährlich Reinigung
	2000 DM/Austausch	Nach 20 Jahren Austausch der Filterkassetten
Pumpe	40 DM	Jährlich
Anlagentechnik	5 % der Investitionssumme	Jährlich

*Tabelle 9: Angaben zur Instandhaltung
(Eigene Darstellung)*

Zusätzlich sind alle 15 Jahre Ersatzinvestitionen für eine neue Pumpe zu tätigen. Im Fall einer Brunnenanlage kommen nach 30 Jahren neben den Ersatzinvestitionen für eine neue Pumpe auch Sanierungskosten für die Brunnenanlage hinzu.¹⁴¹

Bei der Komponente Anlagentechnik sollen durch die prozentual ermittelten Wartungs- und Instandsetzungskosten von 5 %, zusätzlich die Ersatzinvestitionen für neue Regelungstechnik, Software etc. abgedeckt werden. Die Angabe eines konkreten Ersatzzeitpunktes ist aufgrund der Vielfalt der Bauteile nicht möglich.

Die hauptsächlichen Stromverbraucher einer RWNA sind die Pumpen. Die Magnetventile in der Verteileranlage, über die die Nachspeisung gesteuert wird, liegen in ihrem Verbrauch deutlich unter dem der Pumpen und werden in den nachfolgenden Betrachtungen vernachlässigt. Gleichfalls wird der Stromverbrauch der Computer, auf dem die Leittechnik für das gesamte Institutsgelände installiert ist, vernachlässigt, da sich anteilmäßig für die RWNA keine konkreten Werte ermitteln lassen und dieser im Vergleich zu den anderen Kosten keinen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben wird.

Die Energiekosten EK [DM/a] der Pumpe richten sich nach der geförderten Wassermenge, die von dem Verbrauch der Kühltürme und der Menge des gefallen Niederschlags abhängt. Sie berechnen sich folgendermaßen:

¹⁴¹ Vgl. LAWA (Hrsg.) (1998), S. 1-8

$$EK = Q \cdot V \cdot P \cdot p$$

Q – genutzte Regenwassermenge [m³/a]

V – Förderstrom der Pumpe [m³/h]

P – Nennleistung der Pumpe [kW]

p – Strompreis [DM/kWh]

Der zugrunde gelegte Strompreis beträgt für das Fraunhofer-IZD 0,165 DM/kWh.

Die Kosten für die Entsorgung der Anlage können ebenfalls nicht berücksichtigt werden, da in der Literatur diesbezüglich von keinen Erfahrungswerten berichtet wird. Eine direkte Entsorgung ist sicher auch nicht notwendig, vielmehr sollte die Anlage nach einem bewährtem Betrieb für weitere Jahre instand gesetzt werden. Der einfache Aufbau von RWNA erlaubt dabei den unkomplizierten Austausch der einzelnen Komponenten.

4.2.2 Zukünftige Ersparnisse

4.2.2.1 Trinkwassergebühr

Die Trinkwassergebühr liegt für die Stadt Dresden derzeit bei 3,92 DM/m³. Bei einem Wasserverbrauch von durchschnittlich 13.200 m³/a, ergeben sich für das IZD ca. 51.750 DM/a an Wasserkosten. Durch die RWNA lassen sich durchschnittlich ca. 6.500 m³/a Trinkwasser einsparen, was ca. 25.500 DM/a entspricht.

4.2.2.2 Niederschlagswassergebühr

Die Niederschlagsgebühr wird für direkt oder indirekt an die Kanalisation angeschlossenen Flächen erhoben.

Das Fraunhofer-IZD entrichtet bei einer derzeitigen Niederschlagswassergebühr von 2,03 DM/m² einen Betrag von 24.000 DM/a. Beim Anschluss aller Dachflächen an die RWNA lässt sich diese Gebühr um 16.440 DM/a reduzieren. Durch eine zusätzliche Versickerung des Überlaufs lassen sich nochmals ca. 1.800 DM/a einsparen.

4.2.2.3 Weitere Ersparnisse

Eine weitere Ersparnis ist das Wegfallen der Enthärtung des Wassers, was bisher beim Trinkwasser mit einer Härte von bis zu 24°dH notwendig ist. Einsparen kann man hier insbesondere das Salz für die Enthärtung und die dafür notwendigen Anlagen und deren Instandhaltung.

Zur Berechnung der Ersparnis wurden folgende Kennzahlen aus der bisher benötigten Menge des notwendigen Salzes und der Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen der Anlage (z. B. Filterwechsel und Reparaturen) zur Wassermenge erstellt.

Kennzahlenbildung für die Ersparnis des Enthärtungssalzes:

1.127 DM/a für 1,63 t_{Salz} /a

Verwendet für 2.138 m³_{Wasser}/a

→ $1.127 / 2.138 = \underline{0,53 \text{ DM/m}^3}$

Kennzahlenbildung für die Ersparnis der Anlagen und deren Instandhaltung:

$$\begin{aligned} & 3.038 \text{ DM/a} \\ & \text{für } 2.138 \text{ m}^3_{\text{Wasser/a}} \\ & \rightarrow 3.038/2138 = \underline{1,42 \text{ DM/m}^3} \end{aligned}$$

4.2.3 Kalkulationszinsfuß und Nutzungsdauer

Der für die Berechnung von Kapitalwerten bzw. zur Abzinsung der Zahlungsgrößen eines Investitionsobjektes erforderliche Zinsfuß, wird als Kalkulationszinsfuß bezeichnet. Aus ökonomischer Sicht lässt er sich zum Beispiel als Vergleichszinsfuß interpretieren.¹⁴²

Die LAWA empfiehlt zur Überprüfung wasserwirtschaftlicher Projekte einen Zinssatz von real 3 % p. a. als Standardwert.¹⁴³ Dieser Realzinssatz beinhaltet die Veränderung der Kaufkraft – Inflation – und ergibt sich aus folgender Beziehung:

$$i_r = ((1+i_n)/(1+i_i)) - 1$$

i_r – Realzinssatz
 i_n – nominale Marktzinssatz
 i_i – Inflationsrate

Der oben genannte Zinssatz soll auch für den Wirtschaftlichkeitsnachweis in dieser Arbeit verwendet werden. Dies begründet sich zusätzlich dadurch, das sich bei heutigem nominalen Marktzinssatz von 4,5 % und einer Inflation von 1,5 % ein Realzinssatz von ca. 3 % errechnet.

Im Rahmen von Sensitivitätsanalysen wird empfohlen, hinsichtlich der Höhe des Zinssatzes und ihrer Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit, lediglich eine Bandbreite von 2 bis höchstens 5 % p. a. zu verwenden.¹⁴⁴

Bei der Festlegung der Nutzungsdauer für die RWNA wurde sich hauptsächlich an den Nutzungsdauern der kostenintensiven Anlagenkomponenten, wie Speicher, Filter und Rohrleitungssysteme orientiert. Nach LAWA lassen sich folgende Nutzungsdauern für die Anlagenkomponenten aufstellen:

Komponente	Zisterne	Filter	Außenrohrsystem	Innenrohrsystem	Pumpen	Brunnenanlage
Nutzungsdauer [a] ¹⁴⁵	50–70	50–70	50-100	40-60	15-20	20-60

Tabelle 10: Durchschnittliche Nutzungsdauern der Anlagenkomponenten

(Eigene Darstellung)

Auf dieser Grundlage wurde eine Nutzungsdauer von 50 Jahren für die RWNA festgelegt.

4.2.4 Berücksichtigung zukünftiger realer Preisänderungen

In Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ist es vielfach üblich, die in den einzelnen Perioden eines Betrachtungszeitraums regelmäßig wiederkehrenden Zahlungen (z. B. für Energie, Personal,

¹⁴² Vgl. VDI (1991), S. 10

¹⁴³ Vgl. LAWA (Hrsg.) (1998), S. 4-3

¹⁴⁴ Vgl. LAWA (Hrsg.) (1998), S. 4-3

¹⁴⁵ Vgl. LAWA (Hrsg.) (1998), Anlage 1-1 ff.

Material usw.) als festen Betrag anzusetzen. Diese Methode ist sicherlich für kurze Betrachtungszeiträume genau genug. Für große Betrachtungszeiträume sind jedoch Preis- und Mengenänderungen zu berücksichtigen.

Dies geschieht in zweckmäßiger Weise durch Annahme eines Zahlungsänderungssatzes j . Dieser Zahlungsänderungssatz j soll angeben, um wieviel Prozent die Zahlung der Folgeperiode höher oder niedriger ist als die Zahlung in der Periode zuvor. Aus dieser Annahme ergibt sich, dass die Zahlungen im Verlauf der Perioden exponentiell verlaufen. Wegen des angenommenen exponentiellen Verlaufes ist besonders bei der Betrachtung über viele Perioden die Schätzung des Änderungssatzes j besonders sorgfältig vorzunehmen.

Langjährige Erfahrungen der Preisentwicklung in der Vergangenheit können nicht ohne weiteres auf die Zukunft übertragen werden.¹⁴⁶ So kam es zum Beispiel Ende der achtziger Jahre und Anfang der neunziger Jahre aufgrund der Investitionen, die aus den gestiegenen Anforderungen der EG-Trinkwasserrichtlinie resultierten, zu größeren Steigerungen beim Wasserpreis. Dieser Anstieg der Wasserpreise hat sich inzwischen deutlich verlangsamt. Die Steigerungsrate ist von 11,7 Prozent im Jahr 1992/1993 auf 1,6 Prozent im Jahr 1998/1999 gesunken.¹⁴⁷ Legt man nun einen exponentiellen Verlauf zu Grunde, würde dies bedeuten, dass etwa im Jahr 2010 der Wasserpreis ein konstantes Niveau für die kommenden Jahre erreicht hätte. Dem gegenüber stehen die zunehmende Verschmutzung der Wasservorräte durch Schadstoffe und die daraus resultierenden immer technologisch aufwendiger werdenden Aufbereitungsmaßnahmen. Die Abwassertechnische Vereinigung (ATV) prognostiziert sogar für die Zukunft jährliche Preissteigerungsraten in den alten Bundesländern von 5 % und in den Neuen von 20 %.¹⁴⁸

Eine Schätzung des Preis- und damit des Zahlungsänderungssatzes wird umso unsicherer, je länger der Betrachtungszeitraum der Wirtschaftlichkeitsberechnung ist. Er sollte auch nicht zu hoch angesetzt werden, da wegen des exponentiellen Verlaufes der Zahlungen am Ende des Betrachtungszeitraumes unrealistisch hohe Beträge herauskommen können.¹⁴⁹ Nimmt man z. B. den heutigen Trinkwasserpreis der Stadt Dresden in Höhe von 3,92 DM/m³ und eine jährliche Preissteigerung von 20 % an, so würde sich der Trinkwasserpreis in 50 Jahren (Lebensdauer der RWNA) auf einen Preis von 35.673,72 DM/m³ erhöhen. Diese Zahl erscheint wohl sehr unrealistisch. Geht man von einer jährlichen Preissteigerung von 5 % aus, ergibt sich in 50 Jahren ein Wasserpreis von 44,95 DM/m³. Der Wert erscheint zwar immer noch sehr hoch, bedenkt man jedoch, dass der durchschnittliche Bruttostundenverdienst eines Arbeiters von 2,67 DM/Std. (1960) auf 26,74 DM/Std. (1997) gestiegen ist¹⁵⁰, eine jährliche Steigerung von ca. 6,43 %, ist er durchaus vorstellbar.

Ähnliche Überlegungen kann man auch in Bezug auf die Niederschlagswassergebühr und die Wartungskosten übertragen. Schwierig ist es im Bereich des Energiesektors, dort sind die Strompreise seit Anfang der neunziger Jahre gesunken. Eine weitere drastische Reduzierung fand Ende der neunziger Jahre nach der Privatisierung statt. Dennoch kann man sicherlich da-

¹⁴⁶ Vgl. VDI (Hrsg.) (1991), S. 7 f.

¹⁴⁷ Vgl. Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2001)

¹⁴⁸ Vgl. König, K. W. (1996), S.28

¹⁴⁹ Vgl. VDI (1991), S. 8

¹⁵⁰ Vgl. Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2000), S. 339

von ausgehen, dass aufgrund der endlichen Reserven der konventionellen Primärenergieträger eine gegenläufige Veränderung zu erwarten ist.

In dieser Arbeit werden aus den oben genannten Gründen mit folgenden realen Zahlungs- bzw. Preisänderungssätze gerechnet:

	Preisänderungssätze j [%/a]
Trinkwasser	5
Niederschlagswasser	5
Energie	3
Wartung	3

Tabelle 11: Änderungssätze

(Eigene Darstellung)

Diese Parameter sollen später in der Sensitivitätsanalyse variiert werden.

4.3 Methoden für den Wirtschaftlichkeitsnachweis

Häufig wird die Kosteneinsparung das entscheidende Argument für den Bau von RWNA sein. Dann müssen die Investitions- und Betriebskosten einer solchen Anlage Wirtschaftlichkeitsberechnungen standhalten. Es sind also die in Kapitel 4.2 genannten Einsparungen den Investitions-, Instandhaltungs- und Betriebskosten für Speicher, Fördereinrichtungen, Energie etc. gegenüberzustellen.

Die Untersuchung der Vorteilhaftigkeit eines Investitionsobjektes kann mit Hilfe verschiedener Verfahren – die sich zum Teil in ihren Voraussetzungen unterscheiden – durchgeführt werden. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur RWN wurden zwei Methoden ausgewählt, die im weiteren näher erläutert werden sollen.

4.3.1 Kapitalwertmethode

4.3.1.1 Grundlagen

Das geeignetste unter den dynamischen Berechnungsverfahren stellt die Kapitalwertmethode dar, weil neben der Verzinsung des eingesetzten Kapitals auch Preissteigerungen für Strom, Wasser etc. berücksichtigt werden können.¹⁵¹

Die Betriebskosten und in diesem Fall auch die Einsparungen an Trinkwasser und Niederschlagswasser werden Jahr für Jahr jeweils um die Preissteigerungsrate j erhöht und dieser Wert mit dem Kalkulationszins i auf den heutigen Tag zurückgerechnet. Die Summe der so ermittelten jährlichen Betriebskosten A und Einsparungen E sowie die Investitionskosten I_0 werden zum Kapitalwert zusammengefasst¹⁵², so dass sich folgende Gleichung ergibt:

$$K = -I_0 + \frac{E_t - A_t}{(1+i)^t}$$

¹⁵¹ Vgl. Schmidt, H. (1986), S. 145

¹⁵² Vgl. Bullermann, M. u. a. (1989), S. 178 f.

Die Wirtschaftlichkeit der Investition lässt sich aus der Gleichung ablesen: Ist der Kapitalwert – der erwirtschaftete Überschuss – positiv, so besteht Wirtschaftlichkeit. Ist K negativ, lohnt sich die Investition nicht, weil sie mit Verlust behaftet ist.

4.3.1.2 Ermittlung der wirtschaftlichsten Variante

Auf der Grundlage der ermittelten Daten aus Kapitel 4.2 ergeben sich die in der Anlage II-2 ff., in der Spalte „Tatsächliche Werte – K [DM]“, dargestellten Kapitalwerte für die einzelnen Varianten in Abhängigkeit von den Speichergrößen. Hier werden nachfolgend nur die zusammengefassten Varianten dargestellt. Dabei soll die Variante „Brunnen“ vorerst nicht in die Betrachtung einbezogen werden, da wie bereits in Kapitel 3.6.2 erwähnt, der Bau und Betrieb einer solchen Anlage einigen Einschränkungen unterliegt.

Aus den Ergebnissen zur Kapitalwertberechnung geht eindeutig hervor, dass die Variante „RWV Zähler Zukunft“ den höchsten Kapitalwert besitzt und somit ökonomisch sinnvoller ist als alle anderen.

Variante	Kapitalwert [DM]	Rang	t _A [a]	Rang
RWV Zähler Zukunft	3.928.229	1	7,75	2
RWV Zukunft	3.873.220	2	7,83	3
Institute Zukunft	3.765.778	3	8,30	5
Institute Zähler Zukunft	3.733.699	4	8,45	6
RWV Zähler Heute	2.892.681	5	7,93	4
RWV Heute	2.841.172	6	8,98	7
Institute Heute	2.708.698	7	9,97	8
Institute Zähler Heute	2.588.371	8	7,69	1

Table 12: Kapitalwerte der Varianten, absteigend sortiert

(Eigene Darstellung)

Aus Sicht des höchsten Kapitalwertes erweist sich also folgende Variante mit den dazugehörigen Speichern als empfehlenswert:

Speicher/Variante	Speichergröße [m ³]	Kapitalwert [DM]	Amortisationsdauer [a]
RWV Zähler Zukunft	177	3.089.954	7,75
FEP Zähler Zukunft	63	838.275	7,76
Variante „RWV Zähler Zukunft“		3.928.229	7,75

Table 13: Variante mit dem höchsten Kapitalwert = Wirtschaftlichste Variante

(Eigene Darstellung)

Auffallend ist im Zusammenhang mit den Kapitalwerten, dass fast alle Speichern mit Zähler einbau bei heutigen Gegebenheiten die höchsten Kapitalwerte bei einem kleinen Speicher aufweisen (Ergebnisse siehe Anlage II-7 bis II-10). Dies liegt daran, dass ein sehr großer Speicher bei den vorliegenden Gegebenheiten nicht notwendig ist, aber durch die Stadtentwässerung gefordert wird und somit bei den herkömmlichen Berechnungen (ohne Zählereinbau) die Belastungen durch die Niederschlagswassergebühr sehr hoch sind. Ein sehr großer

Speicher ist auch deshalb nicht sinnvoll, weil der Verbrauch wesentlich höher ist als der Ertrag an Niederschlagswasser. Diese Empfehlungen findet man auch in der Literatur. Der Speicher wird nach einem Regenguss sehr schnell geleert und kann danach wieder neues Regenwasser aufnehmen. Bei einem zu großen Speicher würde die Kapazität nie voll ausgenutzt werden, er wäre somit unwirtschaftlich.¹⁵³ Unter zukünftigen Gegebenheiten liegt der höchste Kapitalwert bei größeren Speichern. Dies kann daran liegen, dass die zukünftigen Einsparungen nur prozentuale Werte der heutigen Einsparungen sind und die Berechnung nicht mit konkreten Werten erfolgte.

Durch Ergänzung der RWNA mittels eines Bohrbrunnens erhöhen sich die Kapitalwerte auffallend, da nun das gesamte Trinkwasser für die Nachspeisung der Kühltürme substituiert werden kann. In der folgenden Tabelle werden die Kapitalwerte, der zur Variante „RWV Brunnen“ äquivalenten Varianten, dargestellt.

Variante	Kapitalwert [DM]	Amortisationsdauer [a]
RWV Brunnen	3.621.810	7,21
RWV Zähler Heute	2.892.681	7,93
RWV Heute	2.841.172	8,98

*Tabelle 14: Kapitalwerte und Amortisationszeiten äquivalenter Varianten, absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)*

Werte für die zukünftigen Gegebenheiten können hier nicht ermittelt werden, da keine Verbrauchsdaten für die neuen Kühltürme zur Verfügung stehen und daher keine Kenntnis über die zu fördernden Mengen besteht. In dem Fall müsste dann beachtet werden, dass die zukünftigen Fördermengen die 2.000 m³ Grenze überschreiten werden (derzeit müssten ca. 1.700 m³ gefördert werden), und dafür eine Nutzungsgebühr von 0,15 DM/m³ Grundwasser berechnet werden muss.

Die dargestellten Größenordnungen lassen allerdings vermuten, dass eine Brunnenanlage auch in Zukunft eine äußerst sinnvolle Ergänzung ist, falls sie für mehrere Jahre genehmigt wird.

4.3.2 Dynamische Amortisationsrechnung

4.3.2.1 Grundlagen

Ein weiteres Beurteilungskriterium für Wirtschaftlichkeitsberechnungen stellt die Amortisationsdauer dar. Als Amortisationszeitpunkt gilt dabei der Zeitraum, nach dem die Anfangsinvestition zuzüglich einer Verzinsung in Höhe des Kalkulationszinssatzes sich durch die Einsparungen gerade wiedergewonnen hat.¹⁵⁴ Insofern handelt es sich bei der Amortisationsrechnung nicht um eine Wirtschaftlichkeitsrechnung, aus der sich der Zahlungsüberschuss einer Investition ermitteln oder eine Aussage über die Vorteilhaftigkeit des Kapitaleinsatzes im Hinblick auf eine angestrebte Gewinnerzielung ableiten lässt. Mit ihr ermittelt man folgende Informationen:

- Amortisationsdauer als Kriterium zur Risikoabschätzung des Kapitaleinsatzes

¹⁵³ Vgl. Rheinschmidt, R.; Schweitzer, K. (1996), S. 69 ff.

¹⁵⁴ Vgl. Perridon, L.; Steiner, M. (1991), S. 54

- Amortisationsdauer als Beurteilungsmaß für die künftige Liquidität aufgrund des Kapitalrückflusses

Die Amortisationsdauer ist somit eine wesentliche Kenngröße zur Beurteilung des Risikos und der Liquiditätsauswirkungen von Investitionen.

Als Grundvoraussetzung jeder wirtschaftlich sinnvollen Investition muss die folgende Bedingung erfüllt sein:

- Amortisationsdauer < Nutzungsdauer

Das Entscheidungskriterium der Amortisationsmethode lautet: »Wähle aus den Investitionsobjekten dasjenige mit der geringsten Amortisationsdauer.«

4.3.2.2 Ermittlung der Amortisationsdauer

Die Amortisationsdauern wurden anhand der dynamischen Amortisationsrechnung, mit Hilfe folgender Formel, ermittelt:

$$I_0 = \sum_{t=1}^{t_A} \frac{(E_t - A_t)}{(1+i)^t}$$

Die Auflösung der Gleichung nach t_A ist in geschlossener Form nicht möglich. Zur Ermittlung von t_A kann deshalb das Newtonsche Näherungsverfahren angewendet werden.¹⁵⁵ Vereinfachend kann aber auch folgende Formel zur Berechnung benutzt werden:

$$t_A = t + \frac{I_0 - \sum_{t=1}^t \frac{(E_t - A_t)}{(1+i)^t}}{\frac{(E_t - A_t)}{(1+i)^t}}$$

Mit Hilfe der genannten Formel wurden die Amortisationsdauern für die einzelnen Speichersimulationen in Abhängigkeit von den Speichergrößen ermittelt und in den Anlagen II-2 ff., in der Spalte „Tatsächliche Werte – t_A [a]“, dargestellt. Hier werden nachfolgend wieder nur die zusammengefassten Varianten abgebildet.

Variante	t_A [a]	Rang	Kapitalwert [DM]	Rang
RWV Zähler Zukunft	6,10	1	3.855.677	1
Institute Zähler Zukunft	6,19	2	3.712.997	2
RWV Zähler Heute	6,27	3	2.863.367	5
RWV Zukunft	7,62	4	3.670.982	3
Institute Zähler Heute	7,69	5	2.588.371	7
Institute Zukunft	7,91	6	3.250.005	4
RWV Heute	7,98	7	2.723.752	6
Institute Heute	9,14	8	2.333.812	8

Tabelle 15: Amortisationsdauern (absteigend sortiert) und dazugehörige Kapitalwerte der Varianten
(Eigene Darstellung)

¹⁵⁵ Vgl. VDI (Hrsg.) (1991), S. 35

Bei der Auswertung der Ergebnisse soll die Variante Brunnenanlage wiederum nicht in die Betrachtung einbezogen werden, da wie bereits erwähnt, der Bau und Betrieb einer solchen Anlage einigen Einschränkungen unterliegt.

Aus den Ergebnissen zur Amortisationsrechnung geht hervor, dass die Variante „RWV Zähler Zukunft“ die kürzeste Amortisationsdauer besitzt und somit das eingesetzte Kapital am schnellsten zurückgewonnen wird. Sie hebt sich von allen anderen Varianten ab, nicht nur in Bezug auf die Amortisationsdauer, sondern auch der dazugehörige Kapitalwert ist am höchsten. Man kann also folgende Variante empfehlenswert bzw. wirtschaftlich sinnvoll nennen:

Speicher/Variante	Speichergröße [m³]	Amortisationsdauer [a]	Kapitalwert [DM]
RWV Zähler Zukunft	48	6,24	3.023.492
FEP Zähler Zukunft	25	5,56	832.185
Variante „RWV Zähler Zukunft“		6,10	3.855.677

*Tabelle 16: Variante mit der kürzesten Amortisationsdauer, Wirtschaftlichste Variante
(Eigene Darstellung)*

Die niedrigsten Amortisationsdauern liegen, bis auf drei Ausnahmen („RWV Heute“, „RWV Zukunft“, „RWV Brunnen“), bei allen Speichern bei der kleinsten Behältergröße. Der Grund dafür ist, dass sich die viel geringeren Investitionskosten eines kleinen Speichers schneller amortisieren, als bei einem großen Speicher, weil die zu den Speichern gehörenden Einsparungen sich im Verhältnis zu den Investitionskosten nur geringfügig ändern (siehe Abbildung 9, Kapitel 3.7.2.1).

4.3.3 Kombination der verschiedenen Wirtschaftlichkeitsmethoden

Die oben aufgeführten Methoden führen nicht stets zur gleichen Beurteilung und nicht zu gleichen Ergebnissen. Aus dem Vergleich der Kapitalwerte und der Amortisationsdauern sieht man bereits, dass nicht in jedem Fall die Variante mit einem hohen Kapitalwert auch eine kurze Amortisationsdauer (und umgekehrt) haben muss. Im Fall der wirtschaftlichsten Variante „RWV Zähler Zukunft“ trifft dies bedingt zu, da unterschiedliche Behältergrößen zu den Ergebnissen führten. Für die nachfolgenden Varianten erhebt sich die Frage nach einem kombinierten Einsatz der verschiedenen Methoden, um Aufschluss über die nächst besten Varianten zu erhalten. Dies ist besonders in dem Fall nötig, wenn es zu keiner Einigung mit der Stadtentwässerung hinsichtlich des Einbaus eines Zählers kommt und daher eine der nachfolgenden Varianten realisiert werden soll.

Vorraussetzung für den kombinierten Einsatz der beiden Methoden ist jedoch die Kenntnis der wichtigsten Unterscheidungsmerkmale.

4.3.3.1 Unterscheidungsmerkmale

Die dargestellten Wirtschaftlichkeitsmethoden haben einerseits die gleichen Prämissen - Verzinsung zum vorgegebenen Kalkulationszinsfuß - , unterscheiden sich aber andererseits durch die verfolgten Zielsetzungen.

Bei der Amortisationsmethode wird der Zeitpunkt gesucht, zu dem die Auszahlungen – einschließlich des Investitionsbetrages – gerade durch die Einzahlungen gedeckt werden. Je früher dieser Deckungszeitpunkt erreicht wird, desto vorteilhafter ist ein Investitionsobjekt. Die

Kapitalwertmethode strebt dagegen nach dem maximalen Kapitalwert, also dem höchst möglichen Rückfluss während der Nutzungsdauer. Infolgedessen ist Investoren, die mehrere Zielsetzungen verfolgen zu empfehlen, die Amortisationsmethode kombiniert mit der Kapitalwertmethode anzuwenden.¹⁵⁶

4.3.3.2 Kombiniertes Einsatz der Methoden

Der kombinierte Einsatz der Kapitalwert- und Amortisationsmethode hängt davon ab, welche der Zielsetzungen der beiden Methoden dominieren.

Wenn der Investor z. B. den Deckungszeitpunkt t_A' anstrebt, bis zu dem das eingesetzte Kapital zurückgeflossen sein soll oder bis zu dem die Wahrscheinlichkeit einer Fehlinvestition sehr gering ist, so lässt sich das wirtschaftlichste Investitionsobjekt wie folgt ermitteln:

„Wähle das Investitionsobjekt mit dem größten nichtnegativen Kapitalwert K , dessen Amortisationsdauer $t_A < t_A'$ ist.“

Strebt der Investor jedoch nach einem möglichst schnellen Kapitalrückfluss K' , um es für andere Zwecke einzusetzen, so lässt sich das wirtschaftlichste risikoakzeptable Investitionsobjekt ($K > 0$) durch folgenden Ansatz bestimmen.

„Wähle das risikoakzeptable Investitionsobjekt mit der kleinsten Amortisationsdauer, dessen Kapitalwert $K > K'$ ist.“

Sofern die Dominanz der Ziele der beiden Methoden nicht von vornherein feststeht, oder der Investor eine optimale Kombination aus minimaler Amortisationsdauer und maximalem Kapitalwert erreichen möchte, muss der Investor anhand der beiden obigen Zielgrößen eine Gesamtnutzenfunktion aufstellen. Diese Gesamtnutzenfunktion ergibt sich durch Addition der beiden, hier zunächst als gleichgewichtet angenommenen, Zielgrößen:

$$K \text{ [berechnet in DM]} + (-t_A) \text{ [berechnet in Jahre]} = K \text{ [DM]} - t_A \text{ [a]}$$

Zur Maximierung dieser Nutzenfunktion und damit zur Lösung des obigen Entscheidungsproblems müssen der in DM gemessene Nutzen der 1. Zielgröße K und der in Jahren gemessene Nutzen der 2. Zielgröße t_A in eine einheitliche Nutzenmaßgröße, entweder in DM oder in a , transformiert werden. Diese Transformation ist anhand von Äquivalenzaussagen zwischen dem Nutzen von Kapitalwert-Geldbeträgen [DM] und von Amortisationsdauern [a] wie folgt möglich:

Wird zum Beispiel eine einjährige Amortisationsdauer als äquivalent mit 450.000 DM Kapitalwertbetrag angesehen, so gilt:

$$\begin{aligned} K: t_A &= 450.000 : 1 \text{ oder } (450.000 * t_A) \text{ [DM]} \\ &= K \text{ [DM]} \text{ bzw. } (K/450.000) \text{ [a]} = t_A \text{ [a]} \end{aligned}$$

d. h. durch Gewichtung von t_A und K kann man die Amortisationsdauern in Kapitalwerte oder die Kapitalwerte in Amortisationsdauern überführen.¹⁵⁷

¹⁵⁶ Vgl. VDI (Hrsg.) (1991), S. 40

¹⁵⁷ Vgl. VDI (Hrsg.) (1991), S. 40 ff.

Beispielhaft wird an dieser Stelle der „Speicher RWV Zähler Zukunft“ dargestellt, die weiteren Speicher werden in den Anlagen II-2 ff. abgebildet.

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K (K-450.000*t _A)-> Max		Rechnungseinheiten t _A (K/450.000 - t _A)-> Max	
	K [DM]	t _A [a]				
48	3.023.492	6,24	2.808.000	215.492	6,72	0,48
63	3.035.139	6,30	2.835.000	200.139	6,74	0,44
75	3.037.166	6,64	2.988.000	49.166	6,75	0,11
89	3.049.577	6,73	3.028.500	21.077	6,78	0,05
108	3.054.996	7,06	3.177.000	-122.004	6,79	-0,27
126	3.067.555	7,16	3.222.000	-154.445	6,82	-0,34
148	3.066.110	7,54	3.393.000	-326.890	6,81	-0,73
177	3.089.954	7,75	3.487.500	-397.546	6,87	-0,88
210	3.083.622	8,04	3.618.000	-534.378	6,85	-1,19

Tabelle 17: Ergebnisse Simulation Speicher „RWV Zähler Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

Die Zielsetzungen der beiden Ansätze lauten:

$$(K - t_A) \rightarrow \text{Maximum}$$

Aufgrund der oben abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß den Gewichten folgt dann als möglicher Ansatz der kombinierten Zielsetzung:

$$(K - 450.000 * t_A) \rightarrow \text{Maximum oder}$$

$$(K/450.000 - t_A) \rightarrow \text{Maximum}$$

und damit ist für diese Simulation der Speicher mit dem Volumen von 48 m³ der Wirtschaftlichste.

Die Zusammenfassung der einzelnen Speichersimulationen zu den Varianten befinden sich in der Anlage II-15. Hier werden nur auszugsweise die drei wirtschaftlichsten Varianten dargestellt.

Variante	tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K (K-500.000*t _A)-> Max		Rechnungseinheiten t _A (K/500.000 - t _A)-> Max	
	K [DM]	t _A [a]				
RWV Zähler Zukunft	3.855.677	6,10	3.050.000	805.677	7,71	1,61
Institute Zähler Zukunft	3.712.997	6,19	3.095.000	617.997	7,43	1,24
RWV Brunnen	3.530.650	6,57	3.285.000	245.650	7,06	0,49

Tabelle 18: Die wirtschaftlichsten Varianten für die Kombination aus Kapitalwert- und Amortisationsmethode
(Eigene Darstellung)

Aus Sicht der besten Kombination aus Kapitalwert und Amortisationsdauer erweist sich also folgende Variante mit den dazugehörigen Speichern als empfehlenswert:

Speicher/Variante	Speichergröße [m³]	Amortisationsdauer [a]	Kapitalwert [DM]
RWV Zähler Zukunft	48	6,24	3.023.492
FEP Zähler Zukunft	25	5,56	832.185
Variante „RWV Zähler Zukunft“		6,10	3.855.677

Tabelle 19: Wirtschaftlichste Variante für die Kombination aus Kapitalwert- und Amortisationsmethode
(Eigene Darstellung)

4.3.4 Wahl der optimalen Variante

Die drei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen haben gezeigt, dass sich eine Variante eindeutig herauskristallisiert hat, welche sowohl den höchsten Kapitalwert, als auch die kürzeste Amortisationsdauer und die günstigste Kombination aus Beiden aufweist.

Es handelt sich hierbei um die Variante „RWV Zähler Zukunft“. Allerdings sind die dazu gehörigen Speichergrößen nicht bei jedem Ergebnis die gleichen, so dass diesbezüglich bereits in Kapitel 4.3.2.2 „Ermittlung der Amortisationsdauer“ entsprechende Überlegungen dargelegt wurden.

Welches Entscheidungskriterium zur Wahl der zu realisierenden Variante herangezogen wird, liegt an den Zielsetzungen des Anlagenbetreibers. Empfehlenswert erscheint allerdings die wirtschaftlichste Variante aus der Kombination aus Kapitalwert und Amortisationsdauer, da hier beide Zielsetzungen vereint sind.

Speicher/Variante	Speichergröße [m³]	Amortisationsdauer [a]	Kapitalwert [DM]
RWV Zähler Zukunft	48	6,24	3.023.492
FEP Zähler Zukunft	25	5,56	832.185
Variante „RWV Zähler Zukunft“		6,10	3.855.677

Tabelle 20: Wirtschaftlichste Variante für die Kombination aus Kapitalwert- und Amortisationsmethode
(Eigene Darstellung)

Weiterhin ist es zugleich die Variante mit der kürzesten Amortisationsdauer und der Kapitalwert ist nur geringfügig geringer, als der höchst möglich zu erzielende Kapitalwert.

Im Fall, es kommt zu keiner Übereinkunft mit der Stadtentwässerung bezüglich des Zählereinbaus am Überlauf, erscheint die Variante „RWV Zukunft“ empfehlenswert. Es ist zugleich die Variante mit dem höchsten Kapitalwert ohne Zählereinbau.

Speicher/Variante	Speichergröße [m³]	Amortisationsdauer [a]	Kapitalwert [DM]
RWV Zukunft	177	7,88	3.021.570
FEP Zukunft	63	7,66	851.650
Variante „RWV Zukunft“		7,83	3.873.220

Tabelle 21: Viertbeste Variante für die Kombination aus Kapitalwert- und Amortisationsmethode
(Eigene Darstellung)

Wie man erkennen kann, findet man die wirtschaftlichste Variante, ob mit oder ohne Zähler-einbau am Überlauf, zu heutigen oder zukünftigen Gegebenheiten, immer bei der Variante des Regenwasserverbands. Dies resultiert unter anderem daraus, dass im Fall des Fraunhofer-IZD die Mehrkosten eines Rohrleitungssystems bei zentraler Speicherung des Regenwassers durch die geringeren Investitionskosten für einen zentralen Speicher¹⁵⁸ und den davon abhängigen Kosten kompensiert werden. Auch der diskontinuierliche Verbrauch der einzelnen Kühltürme lässt sich durch einen zentralen Speicher besser ausgleichen.

4.3.5 Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsanalysen zeigen die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeitskriterien von Parameteränderungen (wie von Änderungen der Zahlungen, der Preisänderungsraten, des Kalkulationszinsfußes) auf. Durch Sensitivitätsanalysen soll festgestellt werden, inwieweit für möglich gehaltene Parametervariationen des Ergebnis einer Wirtschaftlichkeitsrechnung verändern können. Anlagen, bei denen Parametervariationen zu nicht optimalen Wirtschaftlichkeitsergebnissen führen, z. B. zu negativen Kapitalwerten, müssen als risikobehaftet eingestuft werden.¹⁵⁹ Bei der Amortisationsdauer kann eine solch konkrete Aussage nicht getroffen werden. Hier empfiehlt es sich eine Obergrenze t_A' für die Amortisationsdauer von Investitionsobjekten anzugeben, deren Überschreitung nicht zugelassen werden darf. Alle Investitionsobjekte mit $t_A < t_A'$ werden dann als risikoakzeptabel und alle Investitionsobjekte mit $t_A > t_A'$ als zu risikoreich eingestuft.¹⁶⁰ Die Obergrenze t_A' , oder auch kritische Nutzungsdauer, muss sinnvoller Weise auf jeden Fall unter der tatsächlichen Nutzungsdauer der Anlage liegen, ansonsten ist die Wirtschaftlichkeit ohnehin in Frage zu stellen.¹⁶¹

An dieser Stelle soll für die im vorhergehenden Kapitel beschriebene, wirtschaftlichste Variante „RWV Zähler Zukunft“ eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden.

Grundlage für die Sensitivitätsanalysen ist eine Basisvariante mit folgenden Parametern:

Trinkwasser	5 % Preisänderung pro Jahr
Niederschlagswasser	5 % Preisänderung pro Jahr
Energie	3 % Preisänderung pro Jahr
Wartung	3 % Preisänderung pro Jahr
Zinssatz	3 %

Tabelle 22: Parameter für die Sensitivitätsanalyse

(Eigene Darstellung)

Diese Parameter sollen variiert werden, jeweils um – 3% bis + 5%, für den Kalkulationszinssatz wird nur eine von LAWA empfohlene Bandbreite von +2 bis +5% verwendet. Daraus ergeben sich für die Parameter folgende Änderungsspannen.

¹⁵⁸ gemeint wird hierbei als zentraler Speicher der Speicher des RWVs im Vergleich zu den Speichern des IKTS und IWS, der Speicher vom FEP wird hier nicht einbezogen

¹⁵⁹ Vgl. Adam, D. (1996) S. 325 f.

¹⁶⁰ Vgl. VDI (Hrsg.) (1991) S. 38

¹⁶¹ Vgl. Däumler, K.-D. (1992), S. 240 f.

Trinkwasser	1,85 – 10,25 % Preisänderung pro Jahr
Niederschlagswasser	1,85 – 10,25 % Preisänderung pro Jahr
Energie	0 – 8,15 % Preisänderung pro Jahr
Wartung	0 – 8,15 % Preisänderung pro Jahr
Zinssatz	1,97 – 5,06 % Änderung des Zinssatzes

Tabelle 23: Parameteränderungsspannen für die Sensitivitätsanalyse
(Eigene Darstellung)

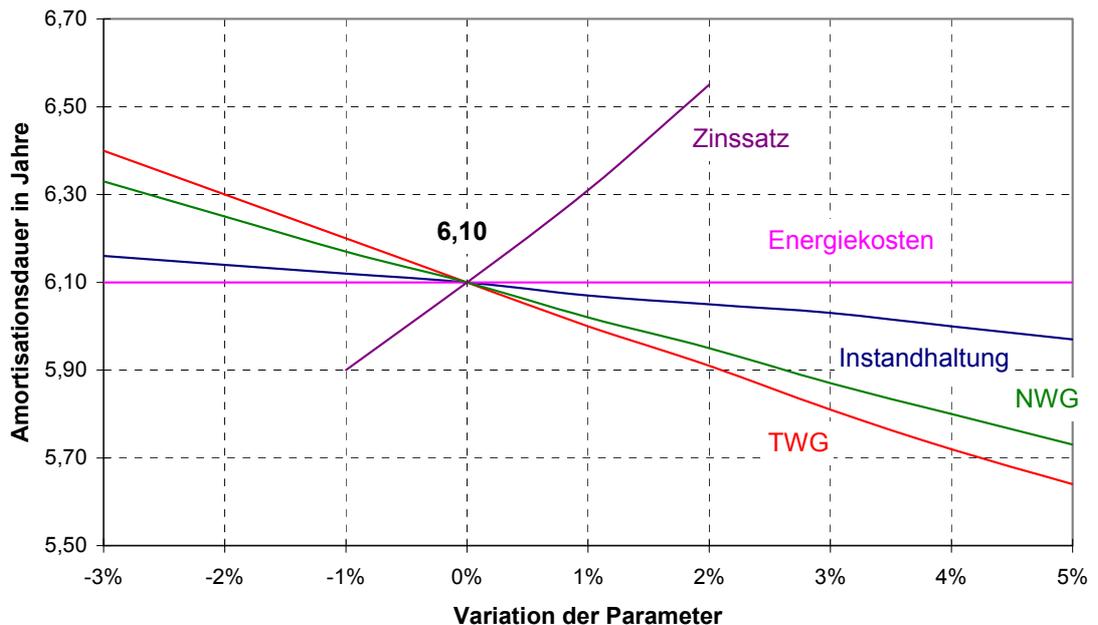


Abbildung 14: Sensitivitätsanalyse der Amortisationsdauer der wirtschaftlichsten Variante
aus der Kombination aus Kapitalwert- und Amortisationsmethode
(Eigene Darstellung)

Aus der Sensitivitätsanalyse der Amortisationsdauer geht hervor, dass die Betriebskosten, also Kosten für Energie und Instandhaltung, einen sehr geringen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der RWNA haben. In Bezug auf die Instandhaltung wirkt sich eine Preissteigerung sogar positiv aus. Das liegt daran, dass die Einsparung der Enthärtung und der damit verbundenen Reparaturen und Filterwechsel durch die RWN höher sind, als die Aufwendungen für die Instandhaltung der Pumpen, Anlagentechnik, Filter und Speicher. Eine Steigerung der Trink- und Niederschlagswassergebühr wirkt sich am deutlichsten auf die Amortisationsdauer aus. Insgesamt kann festgestellt werden, dass eine Veränderung der Parameter keinen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der RWNA besitzt. Durch die vorgenommene Variation verkürzt oder verlängert sich je nach Parameter und Prozentsatz die Amortisationszeit lediglich um ca. ein halbes Jahr.

Anders sind die Ergebnisse bei der Sensitivitätsanalyse des Kapitalwerts. Hier führen, durch den exponentiellen Verlauf der Preisänderungen, die Parameteränderungen ebenfalls zu einem exponentiellen Verlauf des Kapitalwerts. So führt zum Beispiel eine Steigerung der Niederschlagswassergebühr von insgesamt 9 %/a zu einer Verdopplung des Kapitalwerts.

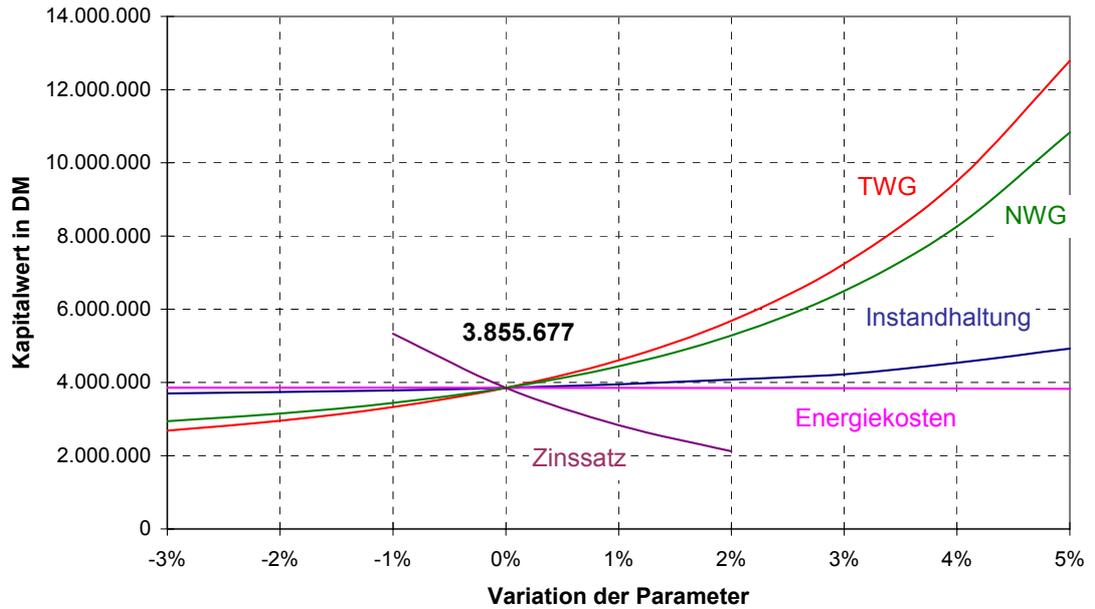


Abbildung 15: Sensitivitätsanalyse des Kapitalwerts der wirtschaftlichsten Variante
aus der Kombination aus Kapitalwert- und Amortisationsmethode
(Eigene Darstellung)

Auch bei der Reduzierung aller Basisparameter um 3 % (Ausnahme Zinssatz, hier Steigerung um 2 %) bleibt der Kapitalwert positiv, der Bau der RWNA ist also auch unter ungünstigen Gegebenheiten noch wirtschaftlich.

5 Ökologische Analyse

5.1 Grundlagen der Ökobilanzierung

Entscheidungen in der Wirtschaft hängen zunehmend von der Einschätzung der Umweltrelevanz von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen ab. Eine Methode zur Einschätzung der Umweltrelevanz von genannten Untersuchungsgegenständen ist die Ökobilanzierung.

Am Midwest Institut in Kansas City wurde 1969 die wahrscheinlich erste Ökobilanz im Auftrag von Coca-Cola durchgeführt.¹⁶² In den folgenden Jahren der ständigen Weiterentwicklung kam es bezüglich des Bilanzaufbaus und der Ausgestaltung einiger Bilanzkomponenten zu Verständigungen, allgemein akzeptierte Konventionen der Bilanzbewertung fehlen jedoch bislang. Diese werden von verschiedenen Seiten immer wieder gefordert, um den Spielraum der Bilanzierer einzuschränken und einen Anspruch der Ökobilanzierung auf allgemein akzeptierte Ergebnisse anmelden zu können.

Vorwegnehmend sei darauf hingewiesen, dass der inzwischen eingebürgerte Begriff der "Ökobilanz" aus betriebswirtschaftlicher Sicht irreführend ist, da es sich nicht um eine stichtagsbezogene Bestandsrechnung, sondern eher um unterschiedliche Instrumente und Konzepte des betrieblichen Umweltschutzes handelt. Die Konzepte unterscheiden sich sowohl hinsichtlich der zu bilanzierenden Gegenstände, als auch hinsichtlich der anzuwendenden Instrumente.¹⁶³

Die in verschiedenen Wissenschaftsbereichen diskutierten Begriffsinhalte, dessen, was unter Ökobilanz genau verstanden wird, sind allerdings höchst vielfältig und sollen deshalb hier nicht ausführlicher erläutert werden.

Ein Punkt, der bei der Planung einer Ökobilanz häufig unterschätzt wird, ist der zeitliche und finanzielle Aufwand. Beispielsweise betrug die Projektdauer der vielbeachteten Studie über Getränkeverpackungen, an der im Auftrag des Umweltbundesamtes drei Institute arbeiteten, dreieinhalb Jahre; die Kosten lagen bei über zwei Millionen Mark.

5.2 Aufbau einer Ökobilanz

Beim strukturellen Aufbau einer Ökobilanz besteht inzwischen ein Konsens zugunsten eines Standardmodells, das in der nachfolgend dargestellten bzw. ähnlicher Form weltweit von maßgebenden Institutionen befürwortet wird. Das Standardmodell umfasst die folgenden Teilschritte¹⁶⁴:

- Zieldefinition (Goal and Scope Definition)
- Sachbilanz (Inventory Analysis)
- Wirkungsabschätzung (Impact assessment)
- Auswertung (Interpretation)

Im ersten Schritt erfolgt mit der Zieldefinition die Entscheidung für die untersuchte Fragestellung (Erkenntnisinteresse). Der beabsichtigte Anwendungszweck und die angesprochenen Zielgruppen werden aufgeführt. Die Absteckung des Untersuchungsrahmens umfasst die Be-

¹⁶² Vgl. Schmidt, M., Schorb, A. (1995), S. 7

¹⁶³ Vgl. Krcmar, H., u. a. (2000), S. 50 f.; Vgl. auch Schaltegger, S.; Sturm, A. (1992), S. 70

¹⁶⁴ Vgl.: Schmidt, M., Schorb, A. (1995), S. 4

rücksichtigung einer Vielzahl von Punkten. Zur Vermeidung von Missverständnissen und Widersprüchen erfolgt hier die Festlegung auf geographische und zeitliche Bilanzgrenzen, untersuchte Alternativen und notwendige Annahmen.

Die räumliche Bandbreite erstreckt sich dabei auf das Gebiet, das in die Bilanzierung einbezogen werden soll.

Der zeitliche Rahmen bezieht sich auf die Datenverwaltung. Hier ist anzugeben, für welches Jahr die Daten erhoben wurden, und inwieweit die Lebensdauer von Produkten und zukünftig anfallende Umweltbeeinflussungen erfasst worden sind.¹⁶⁵

Bei der Auswahl der Alternativen ist u. U. zu bedenken, dass diese neben ihrer (gleichen) Hauptfunktion über zusätzliche (unterschiedliche) Eigenschaften verfügen können, die ggf. auch kaufentscheidend sind und somit die generelle Vergleichbarkeit der Alternativen einschränken. Bei der RWN ergibt sich die große Schwierigkeit, Produktalternativen zu finden, die vom Konsumenten als nutzenidentisch angesehen werden. RWNA vermitteln durch ihren Kauf ein ökologisches und soziales Prestige. Sie können dem Nutzer ein Gefühl von zentralismusferner Unabhängigkeit geben. Das sind Nutzenaspekte, die der Status Quo der zentralen Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung nicht bieten kann.¹⁶⁶

Die im nächsten Schritt zu erstellende Sachbilanz wird auch als "quantitative Herzstück einer Ökobilanz" bezeichnet, weil aus ihr die Daten relevanter Input- und Outputflüsse zu entnehmen sind. Betrachtet wird die Prozesskette des zu untersuchenden Produktes über Gewinnung und Herstellung einzelner Rohstoffe, Herstellung des Produkts, Distribution und Gebrauch bis zur Entsorgung. Die konkrete Dokumentation dieses Lebenswegs ist Voraussetzung für die anschließende Erfassung von qualitativen und quantitativen, spezifischen (auf das Produkt bezogenen) und allgemeinen (aus firmenexternen Quellen übernommenen) Daten.¹⁶⁷ Nach der rechnerischen Aufbereitung gemäß den Annahmen des Untersuchungsrahmens kann das Gesamtsystem, z. B. eine RWNA, als eine Input-/Outputbilanz dargestellt werden.

Die Ergebnisse der Sachbilanz bilden die Grundlage der Wirkungsabschätzung (auch Wirkungsbilanz), da mit ihr die Bedeutung der Sachbilanz-Ergebnisse hinsichtlich möglicher Umweltwirkungen beurteilt wird. Hierfür ist es zunächst notwendig, potentielle Umweltwirkungen zu kennen und diese zu klassifizieren. Es erfolgt also in diesem Schritt die wichtige Auswahl der Umweltproblemfelder, zu denen das Zuordnungsobjekt, hier die RWNA, beitragen könnte¹⁶⁸.

¹⁶⁵ Vgl. Rubik, F., Teichert, V. (1997) S. 39 ff.

¹⁶⁶ Vgl. Müller, U.; Sundmacher, T. (1996) S. 79

¹⁶⁷ Vgl. Schmidt, M., Schorb, A. (1995) S. 125

¹⁶⁸ Vgl. Rubik, F., Teichert, V. (1997) S. 43 f.

Standardliste der Wirkungskategorien
Eutrophierung
Humantoxizität
Lärmbelastung
Naturraumbeanspruchung
Ökotoxizität
Ozonabbau
Ressourceninanspruchnahme
Sommersmog
Treibhauseffekt
Versauerung

Tabelle 24: Liste der Wirkungskategorien

(Quelle: Rubik, F., Teichert, V. (1997) S. 44)

Die Auswahl erfolgt gemäß den zuvor gesetzten Systemgrenzen, womit deutlich wird, welcher entscheidender Einfluss auf das Ergebnis der gesamten Ökobilanz schon zu Beginn genommen wurde. Bereits hier kann die (unvermeidliche Mehrfach-) Zuordnung der Energie- und Massenströme der Sachbilanz auf die Umweltwirkungs-Kategorien erfolgen.¹⁶⁹ In der Abschätzung werden die verschiedenen Kategorien anhand der genauen Daten der Sachbilanz "quantifiziert" oder letztere "modelliert", d. h. auf die festgelegten funktionellen Einheiten bezogen. Zur Veranschaulichung: Für die Wirkungskategorie Treibhauseffekt werden die ihr bereits entsprechend zugeordneten Daten der Sachbilanz, also alle in diesem Zusammenhang interessierenden gasförmigen Emissionsarten so aggregiert, dass sie bewertet werden können.¹⁷⁰

Wie schon die Festlegung des Untersuchungsrahmens und die Datendarstellung in der Sachbilanz, birgt auch die Erstellung der Wirkungsbilanz subjektive Elemente, z. B. bei der Auswahl der relevanten Stoffemissionen, die zudem auch noch gemäß ihrem jeweiligen Beitrag gewichtet werden.¹⁷¹

Die Bilanzbewertung fasst die Ergebnisse von Sachbilanz und Wirkungsabschätzung i. S. einer Gesamtbewertung zusammen. Für diesen Prozess stehen inzwischen eine Reihe von Bewertungsmethoden zur Verfügung, welche hier nicht im einzelnen aufgezählt werden sollen.¹⁷² Zunächst ist mit Hilfe eines geeigneten Maßstabes der spezifische Beitrag des Produkts in jeder Wirkungskategorie zu beurteilen. Als Maßstab kann die bereits existierende Vorbelastung oder ein von der Politik angestrebtes Umweltqualitätsziel dienen. Vergleicht man z. B. die jeweiligen spezifischen Beiträge zweier Alternativen, hier z. B. RWN mit öffentlicher Trinkwasserversorgung, innerhalb einer Wirkungskategorie miteinander, ist aber noch keine Aussage über die Gesamtbeurteilung der Alternativen möglich, es sei denn, eine Alternative verfügt in jeder Wirkungskategorie über den geringeren spezifischen Beitrag, ein allerdings nicht sehr

¹⁶⁹ Vgl. UBA (Hrsg.) (1999); S. 11

¹⁷⁰ Vgl. Müller, U.; Sundmacher, T. (1996), S. 86 f.; Vgl. auch Krcmar, H., u. a. (2000), S. 96

¹⁷¹ Vgl. Rubik, F., Teichert, V. (1997) S. 111

¹⁷² siehe dazu z. B. Schaltegger, S.; Sturm, A. (1992), S. 72 ff. oder Rubik, F., Teichert, V. (1997) S. 98 ff.

wahrscheinliches Ergebnis.¹⁷³ Deshalb kann noch eine Gewichtung der Wirkungskategorien zueinander erfolgen, d. h. eine "Prioritätenliste zu verhindernder Umweltgefahren" muss formuliert werden, so dass den Kategorien "relative ökologische Bedeutungen" zugeordnet werden können. Erst jetzt ist es möglich, auch die untersuchten Alternativen vergleichend zu beurteilen.

5.3 Bestehende Ansätze einer Ökobilanzierung für RWNA

Eine Ökobilanz zur RWN wurde erstmalig 1999 im Rahmen einer Diplomarbeit am Beispiel einer Einfamilienhaussiedlung erstellt. Schwerpunkt dieser Arbeit war die Analyse, ob durch die RWN im Haushalt ein nachhaltiger Beitrag zu Umweltentlastung im Vergleich zur rein konventionellen Wasserversorgung erbracht werden kann.

Bis dahin wurden lediglich einige Teilaspekte zum möglichen Einsparpotential für Trinkwasser und zur Wirtschaftlichkeit der RWN untersucht. Dabei konnte eindeutig festgestellt werden, dass die Nutzung von Regenwasser für Ein- und Zweifamilienhaushalte unter der Voraussetzung der Entrichtung von Abwassergebühren und ohne Berücksichtigung der ökologischen Aspekte nicht wirtschaftlich ist.¹⁷⁴

In der oben genannten Ökobilanzierung sind sowohl die Stoffströme zum Bau der RWNA, als auch die Einsparpotentiale durch den Betrieb der Anlage eingeflossen. Mit Hilfe der Erstellung von Teilsachbilanzen konnten verschiedene Prüfkriterien miteinander verglichen und bewertet werden. Unter den Prüfkriterien sind u. a. Auswirkungen wie der CO₂-Verbrauch, die Energie- und Wasserbilanz als auch der Ressourcenverbrauch in die Bewertung eingeflossen.

Die Auswertung der einzelnen Bilanzen mit Hilfe des Softwarepaketes Umberto zeigte, dass der Einbau von RWNA ökologisch betrachtet sinnvoll ist. Die ökologischen Entlastungspotentiale durch die Nutzung einer Regenwasseranlage überwiegen die negativen Effekte zur Herstellung einer solchen Anlage. Es konnte ebenfalls nachgewiesen werden, dass die Vorteile einer RWNA gegenüber der konventionellen Wasserversorgung ansteigt, wenn das Trinkwasser entweder aus der Fernwasserversorgung (lange Leitungswege und hoher Pumpenaufwand) oder aber das Trinkwasser ausschließlich aus Grundwasservorkommen geliefert wird. In dem Untersuchungsgebiet konnten erhebliche Energieeinsparungen bei der öffentlichen Wasserver- und Entsorgung lokalisiert werden.

Im Fazit wird betont, dass an erster Stelle von Einsparmöglichkeiten wassersparende Techniken im konventionellen Sinne eingesetzt werden sollten. Danach sind weitere positive Einspareffekte mit der RWN zu erzielen. Dabei ist es sinnvoll im Hinblick auf eine hohe wasserwirtschaftliche Effektivität RWNA ganzjährig zu betreiben. Weiterhin konnte festgestellt werden, je größer die Anlagen sind, desto wirtschaftlicher arbeiten sie. Dies trifft im Besonderen auf RWNA im öffentlichen Bereich sowie in Industrie und Gewerbe zu.¹⁷⁵

Eine weitere Diplomarbeit, die sich mit der ökologischen Analyse von RWNA befasst, wurde 1998 mit dem Thema „Materialintensitäts-Analyse von Anlagen zur Nutzung von Regenwasser im Haushalt im Kontext einer nachhaltigen Wasserwirtschaft“ bearbeitet. Hier wurden alternative Anlagenkomponenten einer RWNA hinsichtlich ihres Materialinputs analysiert und

¹⁷³ Vgl. Müller, U.; Sundmacher, T. (1996), S. 88

¹⁷⁴ Vgl. Schüle, E.; Schlichtig, B. (1994), S. 178

¹⁷⁵ Vgl. Sperfeld, D. (2000), S. 7

mit Hilfe von MIPS (Materialintensität pro Serviceeinheit) in drei Kategorien (Abiotischer Input, Wasser- und Luftverbrauch) bewertet und miteinander verglichen.

Abschließend wird in der Diplomarbeit eine optimierte Anlage, welche auf den in den vorangegangenen Abschnitten gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Materialintensitäten der einzelnen Produktalternativen basiert, zusammengestellt und hinsichtlich der verschiedenen Alternativen variiert.

Prinzipiell wird bei Neubau eines Hauses eine Außenzisterne empfohlen, da hierbei kein wertvoller Kellerraum beansprucht wird. Außerdem ist der Aushub der Grube im Rahmen der allgemeinen Erdarbeiten kostengünstig durchzuführen. Bei nachträglichem Einbau ist der Kellertank eine interessante Alternative, da in dem Fall keine zusätzlichen Erdarbeiten notwendig sind und die Installation mit geringem Aufwand erfolgen kann.¹⁷⁶

5.4 Versuch einer Ökobilanzierung

Die Entwicklung der Ökobilanz für eine RWNA soll nach dem oben beschriebenen Schema erfolgen. Als Beispiel wird die für das Fraunhofer-Institutszentrum Dresden entworfene RWNA für die Variante „RWV Zähler Zukunft“ verwendet.

Vorweg muss gesagt werden, dass hier nicht das Produkt RWNA bilanziert werden soll, sondern vielmehr die mit dem Produkt verbundene Dienstleistung der RWN.

Aufgrund des Umfangs einer solch komplexen Bilanzierung und des begrenzten zeitlichen Rahmens kann das, was hier vorgestellt wird, nicht viel mehr sein, als ein grober Überblick, welche Schritte zur Bilanzierung durchgeführt und welche Bereiche identifiziert werden müssen.

5.4.1 Zieldefinition

Die einzelnen Bereiche der Zieldefinition, wie sie vorweg definiert wurden, können hier nicht detailliert besprochen werden. Zunächst muss geklärt werden, was man mit dem Erstellen der Ökobilanz erreichen möchte. In diesem Fall soll untersucht werden, ob durch die Nutzung von Regenwasser im IZD ein Beitrag zur Umweltentlastung im Vergleich zur bisherigen Trinkwasserversorgung erbracht werden kann. Hiermit wird auch gleich die Frage nach den möglichen Alternativen beantwortet.

Ein weiterer klärungsbedürftiger Bereich ist die Festlegung der räumlichen und zeitlichen Bilanzgrenzen. Bei Letzterem erscheint es sinnvoll, die ökologischen Veränderungen durch die RWN über den kompletten Lebenszyklus der Anlage hinweg zu erfassen. Die Wahl der räumlichen Bilanzgrenzen ist weitaus schwieriger. Hier sollen nur solche Umweltveränderungen, die im direkten Zusammenhang mit der RWN und der RWNA stehen, bilanziert werden.

5.4.2 Sachbilanzen

Die Erstellung der Sachbilanzen ist die weitaus aufwendigste Aufgabe bei der Ökobilanzierung. Hier müssen alle mit der Produktherstellung, -nutzung und -entsorgung verknüpften Inputs (wie z.B. Energie, Ressourcen oder Flächen) und Outputs (Emissionen in Luft, Wasser und Boden, Energie, Lärm usw.) bilanziert werden. Dazu gehören im Fall der RWNA:

¹⁷⁶ Vgl. Boermans-Schwarz, T. (1998), S.76 ff.

- In- und Outputs bei der Herstellung der Materialien für die Anlage
- In- und Outputs bei der Herstellung, Installation und Betrieb der Anlage
- In- und Outputs durch Transporte
- Auswirkungen durch die Trinkwassereinsparung (z.B. Einsparungen bei der Aufbereitung, Ausbau Trinkwassernetz, Schonung der Grundwasservorräte)
- Auswirkungen durch die Entlastung der Kläranlage und des Kanalnetzes
- Auswirkungen der Vermeidung von Regenabflussmengen (Gewässerschutz)

Beispielhaft sollen nachfolgend die Hauptbestandteile der RWNA für die Variante „RWV Zähler Zukunft“ und davon nur die besonders wichtigen Materialien bilanziert werden.

Teilprodukt	Zisterne 48m ³ und 25 m ³	2 Filter	Außenrohr- system	Innenrohr- system	2 Pumpen
bilanziertes Material	Stahlbeton	Stahlbeton	Steingut	PVC	Stahl
Gewicht ¹⁷⁷	100.800 kg	24.550 kg	k. A.	28 kg	21 kg
Lebensdauer ¹⁷⁸	50–70 Jahre	50–70 Jahre	50-100 Jahre	40-60 Jahre	15-20 Jahre

*Tabelle 25: Teilprodukte der Anlage
(Eigene Darstellung)*

So bestehen z. B. die Zisternen überwiegend aus dem Material Stahlbeton. Sie wiegen etwa 100,8 t und haben eine durchschnittliche Lebensdauer von 50 Jahren.

Aus diesen Daten lässt sich mit Hilfe von standardisierten Sachbilanzen für die Herstellung der jeweiligen Materialien ein jährlicher Wert für den Eintrag von Stoffen ermitteln. Beispielhaft wurden hier nur wenige Indikatoren (Partikel, CO, CO₂, N₂O, NO_x, SO₂ und HC) und diese nur für das Medium Luft ausgewählt. Die dazu gehörige Tabelle befindet sich in der Anlage III-2.

Im ersten Teil der Tabelle werden zunächst einmal die Emissionswerte, die pro kg des Werkstoffes laut einer Standard-Datenstudie emittiert werden, aufgeführt.¹⁷⁹ Diese werden mit dem Gewicht des jeweiligen Bestandteils der Anlage multipliziert, daraus ergeben sich dann die Emissionswerte pro Objekt und pro Objekt und Jahr. So werden z. B. für die Herstellung des Materials für die beiden Pumpen 184 kg Schwefeldioxid emittiert.

Die Herstellung der Materialien stellt natürlich nicht die einzige Quelle für Umweltbelastungen dar. An dieser Stelle müssen auch die Herstellung und die Installation der Anlage, die Stromverbräuche durch Herstellung, Installation und Betrieb der Anlage, aber auch die Entlastung der Trinkwasseraufbereitung und auch der Abwasserentsorgung berücksichtigt und bilanziert werden. Dies könnte für die Emissionen in ähnlicher Form wie oben erfolgen. Dazu benötigt man zusätzlich die Emissionsdaten des örtlichen Stadtwerks (in Dresden die

¹⁷⁷ Herstellerangaben

¹⁷⁸ Vgl. LAWA (Hrsg.) (1998), Anlage 1-1 ff.

¹⁷⁹ Vgl. Müller, U.; Sundmacher, T. (1996), S. 97

DREWAG), um die Stromverbräuche und Stromeinsparungen durch die RWNA bewerten zu können.

In der Bilanzierung sind zusätzlich noch die Emissionen durch die Transporte der Teile und durch die Anreise des Installationsteams zu ergänzen. Die Darstellung könnte in einer weiteren Emissionsbilanz erfolgen, welche in der Anlage III-3 als mögliche Vorlage dargestellt ist.

5.4.3 Weitere Bearbeitungsschritte

Dies sollen erste Ansätze zu einer Sachbilanz für eine RWNA sein. Eine Möglichkeit hier weiterzuarbeiten, wäre die Schließung bestehender Datenlücken, die Vervollständigung der Sachbilanz und natürlich die Bearbeitung der nachfolgenden Phasen Wirkungsbilanz und Bilanzbewertung.

Wie bereits oben dargestellt, wird in der Wirkungsabschätzung oder Wirkungsbilanz eine Entscheidung darüber getroffen, welche Umweltkategorien einbezogen werden und welche in der Sachbilanz quantifizierten Stoffe wie stark zu ihrer Beeinträchtigung beitragen.

Die nachfolgende Tabelle soll ein Vorschlag für eine mögliche Ausgestaltung dieser Aufgabe sein, dabei werden die Werte der Sachbilanz bereits gewichtet und somit gleichzeitig eine Bewertung dieser vorgenommen. Die Wirkungskategorien wurden dafür nur beispielhaft aus der Liste der Wirkungskategorien aus Kapitel 5.2 ausgewählt.

aggr. Emission nach Wirkungskategorien	chem. Formel	Äqui- valent	RWNA		Öffentliche TWV	
			Sachbilanz- wert (in g)	Gewichteter Wert (in g)	Sachbilanz- wert (in g)	Gewichteter Wert (in g)
Treibhauseffekt						
Kohlendioxid	CO ₂	1				
Methan	CH ₄	11				
Distickstoffmonoxid	N ₂ O	270				
Versauerung						
Schwefeldioxid	SO ₂	1				
Stickoxide	NO _x	0,7				
Schwefelsäure	H ₂ SO ₄	0,88				
Ammoniak	NH ₃	1,88				
Humantoxizität						
Stickoxide	NO _x	0,78				
Schwefeldioxid	SO ₂	1,2				
Blei	Pb	160				

Tabelle 26: Bewertungsgewichte nach Wirkungskategorien
(Eigene Darstellung)

Für einen übersichtlicheren Vergleich können in der nachfolgenden Tabelle die Ergebnisse der Emissionen aus den Wirkungskategorien aggregiert dargestellt werden.

	RWNA	Öffentliche TWV
Treibhauseffekt		
Versauerung		
Humantoxizität		

Tabelle 27: Bilanzbewertung nach Wirkungskategorien
(Eigene Darstellung)

Aus den Informationen der Bewertung lassen sich dann Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Anlagenbauer, Anlagenbetreiber und für andere Interessierte ableiten.

6 Zusammenfassung

Die Nutzung von Regenwasser stellt einen wertvollen Beitrag zur Sicherung der Trinkwasserversorgung und zum Gewässerschutz dar. Bei einer richtigen Planung ergeben sich darüber hinaus gerade im nicht-privaten Bereich durchaus finanziell attraktiven Kosten-Nutzen-Verhältnisse.

Wie sich am Beispiel des Fraunhofer IZD herausgestellt hat, ist ein gängiges Softwareprogramm zur Berechnung der optimalen Speichergröße wenig eignet, da die örtlichen Gegebenheiten nur ungenügend berücksichtigt werden können. Dies könnte auch bei anderen Großobjekten der Fall sein, so dass jede Anlage einer individuellen Planung bedarf. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass ein großer Speicher zur Erhöhung des Deckungsgrades ungünstiger ist, wenn der Bedarf deutlich höher ist als der Ertrag und man einen Zähler an den Regenwasserüberlauf einbaut. In diesem Fall (mit Zählereinbau) spart man die Niederschlagswassergebühr für die angeschlossenen Dachflächen vollständig ein und zahlt nur die Überlaufmenge zum Abwasserpreis von 2,91 DM/m³.

Die wirtschaftliche Analyse hat ergeben, dass sich die RWNA für das IZD, bei einer Amortisationsdauer von 6,10 Jahren, rentieren würde. Höhere Preissteigerungen der Trinkwasser- und Niederschlagswassergebühren in den nächsten Jahren würden dies nur noch verstärken.

Entgegen der Meinung in der Literatur hat die Dimensionierung bzw. die Wahl der Pumpe wenig Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Dies liegt wohl daran, dass zum Einen die übrigen Investitions- und Betriebskosten der Anlage stärker dominieren als bei privaten RWNA und zum Anderen im Fall des IZD, aufgrund des Verbrauchers Kühlturm, keine aufwendige Anlage mit Druckbehälter oder Hybridsystem notwendig ist.

Eine Versickerung des anfallenden Überlaufwassers erscheint aus finanziellen Gründen nicht sinnvoll. Der Bau einer Brunnenanlage dagegen verspricht eine attraktive Rentabilität. Bei geringen Investitionskosten lässt sich zusätzlich das verbrauchsabhängige Defizit im Sommer durch die Nachspeisung von Brunnenwasser reduzieren.

Abschließend bleibt festzustellen, dass der Bau der RWNA für das Fraunhofer-Institutszentrum Dresden anhand der vorliegenden Ergebnisse als eine lohnende Investition für die Zukunft erscheint.

Anhang

Anlage I-1 – Regenwassernutzung für das IZD	75
Anlage II-1 - Wirtschaftlichkeitsnachweis	88
Anlage III-1 – Ökologische Analyse	103

Anlage I-1 – Regenwassernutzung für das IZD

Fotographien zur 1. Probenahme am 17.04.2001 (I-2)	76
Wetterbedingungen der 1. Probenahme (I-4)	78
Wetterbedingungen der 2. Probenahme (I-4)	78
Analyseergebnisse des Dachablaufwassers vom April/Mai 2001 (I-5)	79
Ermittlung der tatsächlichen Wasserverbräuche (I-6)	80
Darstellung der Verbrauchswerte (I-7)	81
Mögliche Varianten zur Regenwassernutzung (I-8)	82
Graphische Darstellung der Variante „RWV Heute“ (I-9)	83
Graphische Darstellung der Variante „RWV Zukunft“ (I-10)	84
Graphische Darstellung der Variante „Institute Heute/Zukunft“ (I-11)	85
Vorab untersuchte Varianten zu Regenwassernutzung (I-12)	86

Fotographien zur 1. Probenahme am 17.04.2001 (I-2)

*Abbildung 16: Probenahme am glasierten Ziegeldach vom FEP Gebäude
(fotografiert am 17.04.2001 von Obenaus, G.)*

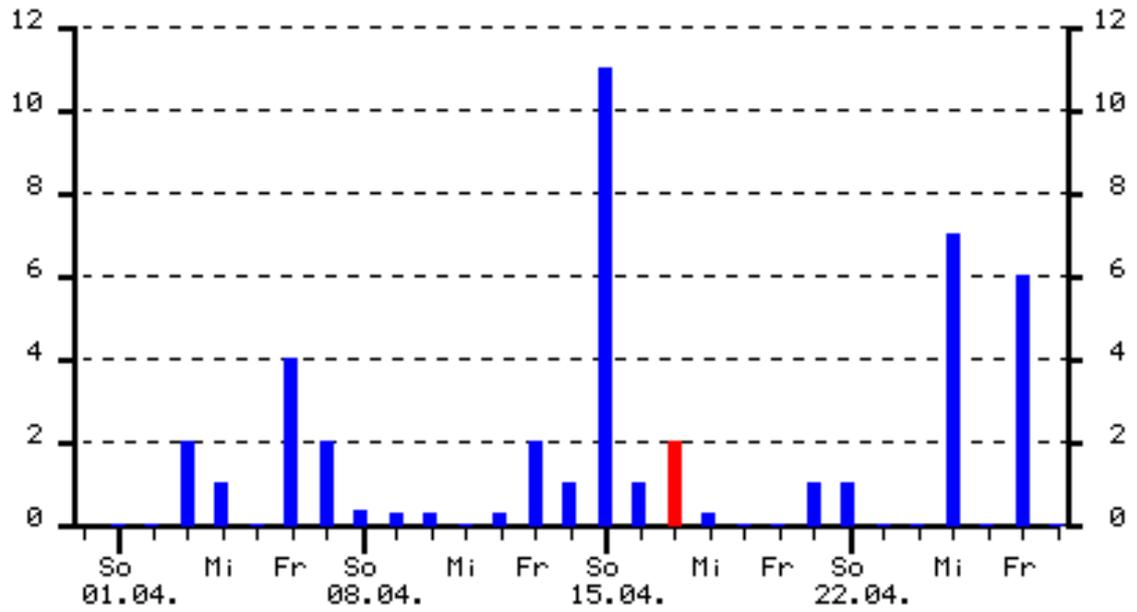


*Abbildung 17: Dachrinne und Einlauföffnung zum Fallrohr
(fotografiert am 17.04.2001 von Bölter, C.)*



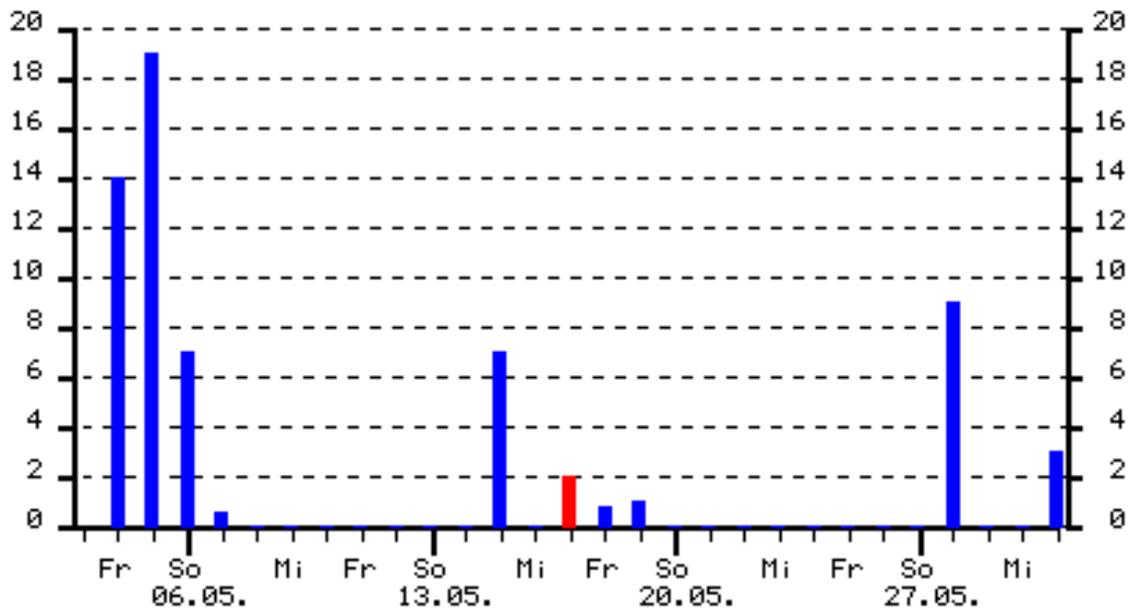
*Abbildung 18: Reinigungsöffnung einer Regenwasserfalleitung im IKTS Altbau
(fotografiert am 17.04.2001 von Bölter, C.)*

Wetterbedingungen der 1. Probenahme (I-4)



1. Probenahme am 17.04.01

Wetterbedingungen der 2. Probenahme (I-4)



2. Probenahme am 17.05.2001

Analyseergebnisse des Dachablaufwassers vom April/Mai 2001 (I-5)

Bezeichnung	Einheit	Kiesdach	Ziegeldach	Kunststoff	Kühlwasser FEP Tech- nikum	Grenzwert nach TrinkwV	Grenzwert nach EU- Richtlinie ¹⁸⁰
Mikrobiologische Parameter							
Koloniezahl 20°	/ml	408	454	1140		1000 ¹⁸¹ (R) ¹⁸²	
Koloniezahl 36°C	/ml	424	144	700		100 (R)	
Coliforme Bakterien	/100ml	ja	ja	ja		n.n.	G ¹⁸³ : 500 I: 10.000
Escherichia coli	/100ml	keine	ja	keine		n.n.	G: 100 I:2000
Fäkalstreptokokken	/100ml	keine	ja	keine		n.n.	G: 100
Salmonellen	/100ml	keine	keine	keine		n.n.	I: 0
Pseudomonas	/100ml	keine	keine	ja		n.n.	
Physikalisch-chemische Parameter und sensorische Größen							
Temperatur bei Ent- nahme	°C	6	6	6		25	
PH-Wert		7,14	7,31	5,77	7,01	6,5 – 9,5	6 – 9
Sauerstoffgehalt	mg/l	9,15	9,6	9,45		-	
Leitfähigkeit	µS/cm	72	63	36	993	2000	
Härte	°dH	1,09	0,84	0,12	15,99	-	
Färbung	1/m	farblos	farblos	farblos	bräunlich- gelb	0,5	keine Anomalie
Trübung	TE/F	3,2	1,8	3,9		1,5	
Geruch		geruchlos	geruchlos	geruchlos		geruchlos	
BSB ₅	mg/l	3	3	3			
CSB	mg/l	17,6	8	12,1			
KMnO ₄	mgO ₂ /l	5,4	2,8	4,2			
Chemische Inhaltsstoffe							
Trockenrückstand	mg/l	48	35	21			
Glührückstand	mg/l	28	<20	<20			
TOC	mg/l	5	2,5	3,5			
Eisen Fe	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	2,86	0,2	
Mangan Mn	mg/l	0,019	0,004	0,006	0,14	0,05	
Blei Pb	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01		40	
Cadmium Cd	µg/l	<0,001	<0,001	<0,001		5	
Zink Zn	mg/l	2,44	0,33	1,3	8,76	5 (R)	
Kupfer Cu	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	0,19	3 (R)	

¹⁸⁰ EU-Richtlinie für Badegewässer¹⁸¹ 1000 Kolonien/ml → Eigenversorgungsanlagen mit <1000 m³/a Entnahmemenge, also gesundheitlich und hygienisch unbedenklich¹⁸² (R) - Richtwerte¹⁸³ G – (guide) – Leitwerte

I – (imperativ) – zwingender Wert, Grenzwert

Calcium Ca	mg/l	7,82	5,99	0,87	107	400	
Magnesium Mg	mg/l	0,51	0,15	0,11	4,5	50	
Sulfat SO ₄	mg/l	<10	<10	<10	164	240	
Nitrat NO ₃	mg/l	<5	5,9	7,5	36,88	50	
Nitrit NO ₂	mg/l	0,17	0,12	0,063		0,1	
Chlorid Cl	mg/l	<1	<1	<1	88,28	250	
Ammonium NH ₄	mg/l	0,86	1,6	2,9		0,5	
Phosphat PO ₄	mg/l	0,055	0,052	0,09	195,79		

Tabelle 28: Analyseergebnisse des Dachablaufwassers

(Eigene Darstellung)

Ermittlung der tatsächlichen Wasserverbräuche (I-6)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	2000
IWS	44	58	71	68	98	57	50	43	34	38	41	49	651
	52%	60%	62%	62%	63%	55%	44%	37%	42%	46%	51%	51%	
IKTS Altbau	40	38	44	40	55	47	64	73	47	45	39	48	580
	48%	40%	38%	37%	35%	45%	56%	63%	58%	54%	49%	49%	
IFAM	0,1	0,0	0,3	1,5	2,9	0,2	0,3	0,4	0,6	0,1	0,2	0,0	6,6
	0%	0%	0%	1%	2%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	
Summe	84	96	115	110	156	104	114	116	82	83	80	97	1238

Tabelle 29: Verbrauch an Wärmemengen [MWh]

(Eigene Darstellung)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	2000
IWS	126	145	212	204	381	310	404	566	228	203	167	194	3140
IKTS Altbau	11	56	3	111	176	300	1	1	114	143	159	17	1092
IFAM	2	2	4	4	11	8	24	28	6	7	11	10	117
Summe	139	203	219	319	568	618	429	595	348	353	337	221	4232

Tabelle 30: Wasserverbrauch [m³] der Kühltürme im Kälteverbund

(Eigene Darstellung)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	2000
IWS	73	123	135	198	357	338	188	220	145	161	172	112	2221
IKTS Altbau	66	80	84	117	200	279	240	373	200	191	164	109	2104
IFAM	0	0	1	4	11	1	1	2	3	0	1	0	24
Summe	139	203	219	319	568	618	429	595	348	353	337	221	4232

Tabelle 31: Tatsächlicher Wasserverbrauch [m³] der Kühltürme der einzelnen Institute

(Eigene Darstellung)

Darstellung der Verbrauchswerte (I-7)

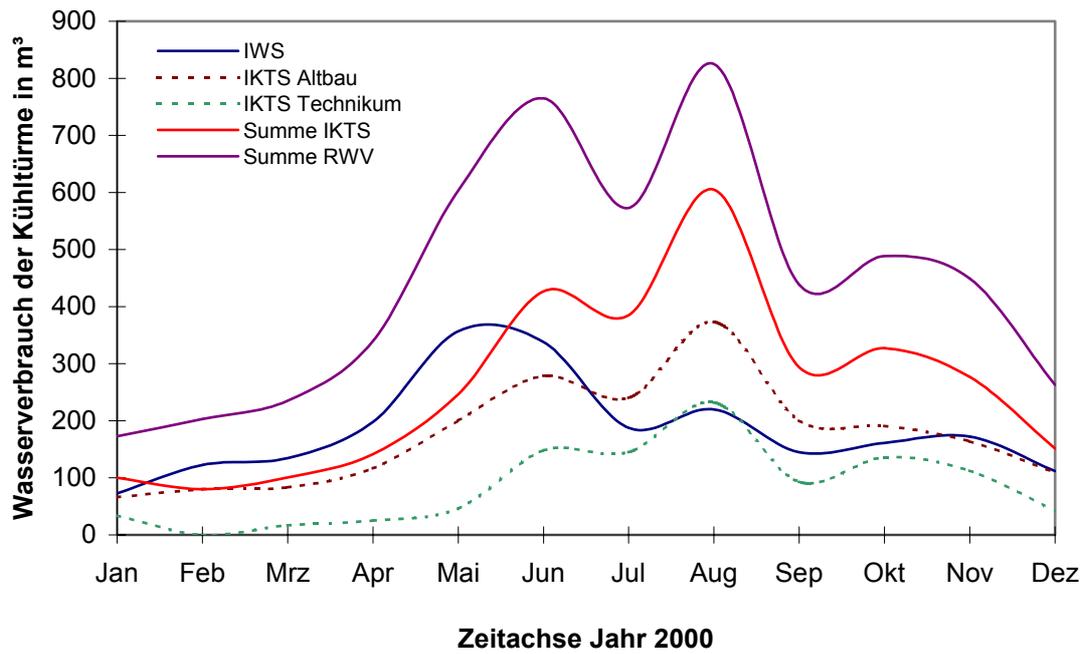


Abbildung 19: Darstellung der Verbrauchswerte für den tatsächlichen Wasserverbrauch der Kühltürme der einzelnen Institute
(Eigene Darstellung)

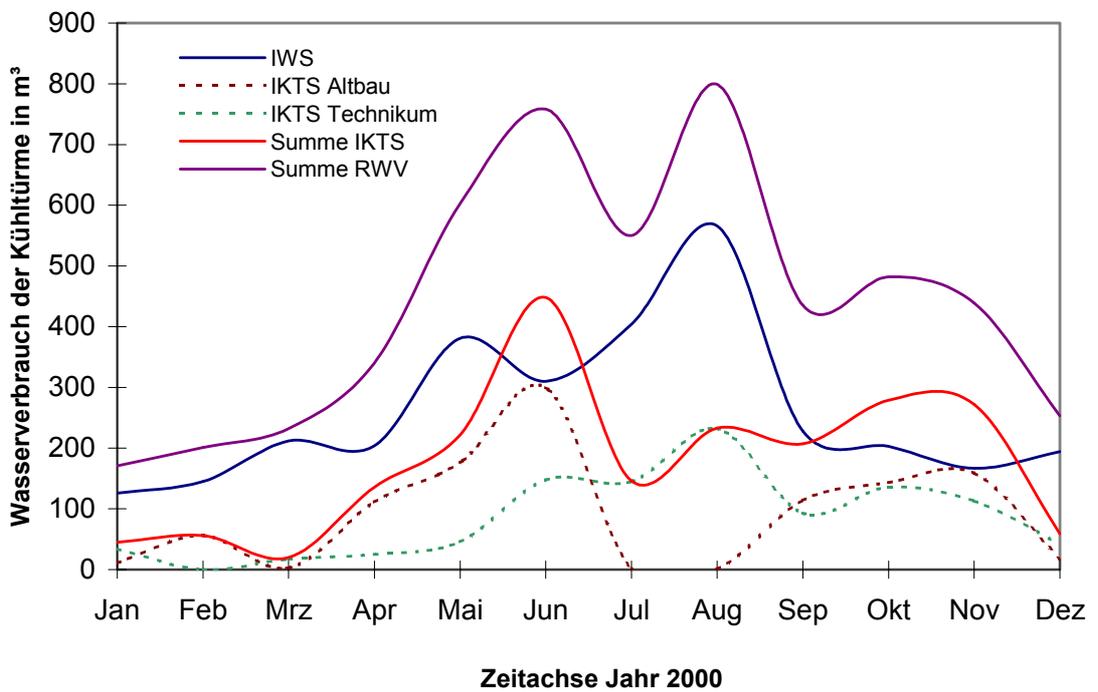


Abbildung 20: Darstellung der Verbrauchswerte für den Wasserverbrauch der Kühltürme im Jahr 2000
(Eigene Darstellung)

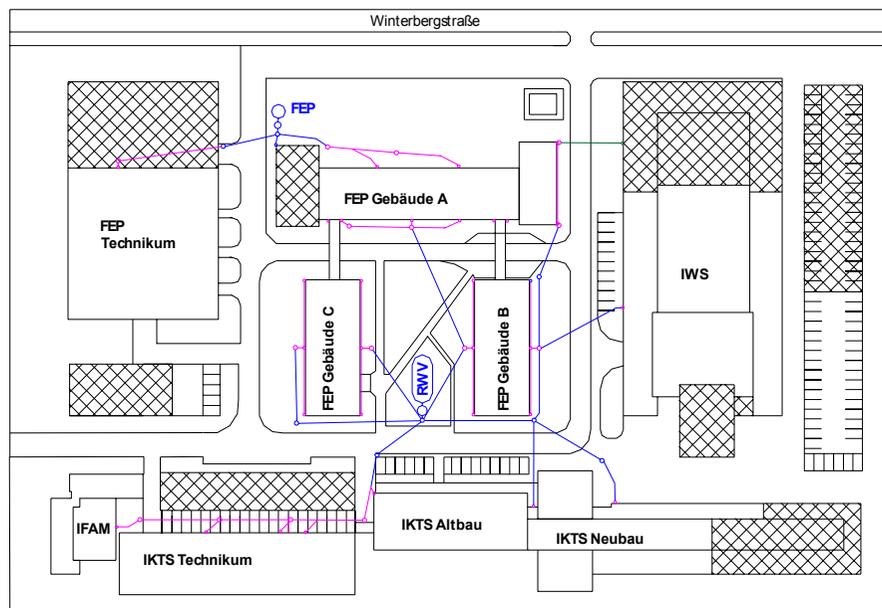
Mögliche Varianten zur Regenwassernutzung (I-8)

Varianten unter Beachtung der geforderten Speichergröße	dazugehörige Speicher
„RWV Heute“	„FEP Heute“ „RWV Heute“
„Institute Heute“	„FEP Heute“ „IKTS Heute“ „IWS Heute“
„RWV Zukunft“	„FEP Zukunft“ „RWV Zukunft“
„Institute Zukunft“	„FEP Zukunft“ „IKTS Zukunft“ „IWS Zukunft“
Varianten mit Zählereinbau an den Überlauf	dazugehörige Speicher
„RWV Zähler Heute“	„FEP Zähler Heute“ „RWV Zähler Heute“
„Institute Zähler Heute“	„FEP Zähler Heute“ „IKTS Zähler Heute“ „IWS Zähler Heute“
„RWV Zähler Zukunft“	„FEP Zähler Zukunft“ „RWV Zähler Zukunft“
„Institute Zähler Zukunft“	„FEP Zähler Zukunft“ „IKTS Zähler Zukunft“ „IWS Zähler Zukunft“
Varianten unter Beachtung der geforderten Speichergröße mit Brunnenanlage	dazugehörige Speicher
„RWV Brunnen“	„FEP Brunnen“ „RWV Brunnen“
„Institute Brunnen“	„FEP Brunnen“ „IKTS Brunnen“ „IWS Brunnen“

Tabelle 32: Mögliche Varianten der RWN

(Eigene Darstellung)

Graphische Darstellung der Variante „RWV Heute“ (I-9)



Legende:

Magenta: Bestand an Entwässerungsanlagen

Blau: Zurechnung zur RWNA

XXXX: An- und Neubauten

Verwendungsbereich	Zul. Abw.	Oberfl.	Maßstab 1:1	Gewicht
			Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr. Modell- oder Gesenk-Nr.	
		Datum	Name	
		Bearb. 21.15.2011	Corinna Böker	
		Gepr. 00.00.00	XXX	
		Norm		
Zust.	Änderung	Datum	Name Ursprung	Ersatz für: Ersatz durch

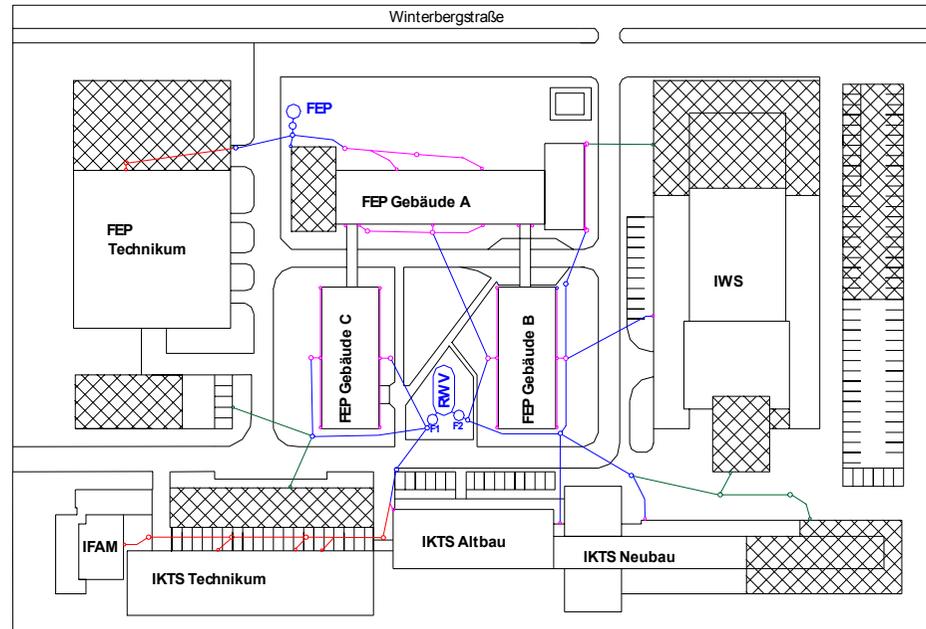
Variante "RWV Heute"

1

Blatt

Blätter

Graphische Darstellung der Variante „RWV Zukunft“ (I-10)

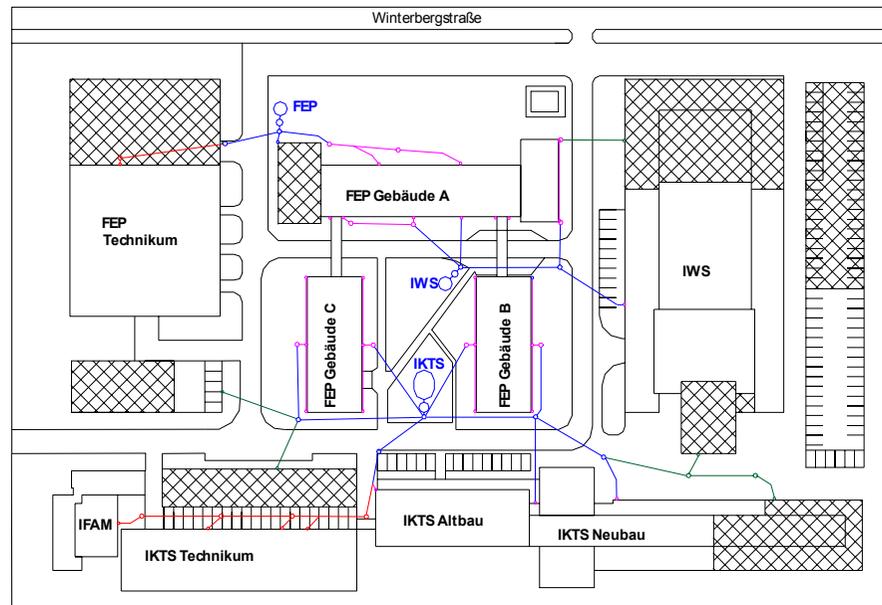


Legende:

- Magenta:** Bestand an Entwässerungsanlagen
- Rot:** Bestand, der während der Baumaßnahmen weggerissen wird
- Blau:** Zurechnung zur RWNA
- Grün:** Neubau während der Baumaßnahmen (keine Zurechnung zur RWNA)
- XXXX:** An- und Neubauten

Verwendungsbereich	Zul. Abw.	Oberfl	Maßstab 1:1	Gewicht
			Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr Modell- oder Gesenk-Nr	
		Datum	Name	
		Bearb. 01.07.2011	Corinna Böller	
		Gepr. 00.00.00	XXX	Variante "RWV Zukunft"
		Norm.		
				3
				Blatt
Zust.	Änderung	Datum	Name	Blätter
			Ursprung	
			Ersatz für:	Ersatz durch:

Graphische Darstellung der Variante „Institute Heute/Zukunft“(I-11)



Legende:

- Magenta:** Bestand an Entwässerungsanlagen
- Rot:** Bestand, der während der Baumaßnahmen weggerissen wird
- Blau:** Zurechnung zur RWNA
- Grün:** Neubau während der Baumaßnahmen (keine Zurechnung zur RWNA)
- XXXX:** An- und Neubauten

Verwendungsbereich	IZul. Abw.l	IOberfl.	Maßstab 1:1	Gewicht
			Werkstoff, Halbzeug/ Rohteil-Nr/ Modell- oder Gesenk-Nr.	
		Datum	Name	
		Bearb. 21.05.2111	Corinna Bolter	
		Gepr. 01.01.00	XXX	
		Norm		
			Variante "Institute"	
			2	Blatt
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung
				Ersatz für
				Ersatz durch

Vorab untersuchte Varianten zu Regenwassernutzung (I-12)

Variante: Regenwasserverbund

Speicher 1:

Ertrag: IWS
 IKTS Neubau
 IKTS Altbau
 IKTS Technikum
 IFAM
 FEP Gebäude Teil A
 FEP Gebäude B
 FEP Gebäude C

Bedarf: IWS
 IKTS Altbau
 IKTS Technikum

Speicher 2:

Ertrag: FEP Technikum
 FEP Gebäude Teil A

Bedarf: FEP Technikum

Variante: Regenwasserverbund

Speicher 1:

Ertrag: IWS
 IKTS Neubau
 IKTS Altbau
 FEP Gebäude Teil A
 FEP Gebäude B
 FEP Gebäude C

Bedarf: IWS
 IKTS Altbau

Speicher 2:

Ertrag: FEP Technikum
 FEP Gebäude Teil A

Bedarf: FEP Technikum

Variante: Regenwasserverbund

Speicher 1:

Ertrag: IWS
 FEP Gebäude Teil A
 FEP Gebäude B
 FEP Gebäude C

Bedarf: IWS

Speicher 2:

Ertrag: FEP Technikum
 FEP Gebäude Teil A

Bedarf: FEP Technikum

Variante: Institute		Variante: Institute	
Speicher 1:	Ertrag: IWS FEP Gebäude Teil A	Speicher 1:	Ertrag: IWS FEP Gebäude Teil A
	Bedarf: IWS		Bedarf: IWS
Speicher 2:	Ertrag: FEP Technikum FEP Gebäude Teil A	Speicher 2:	Ertrag: FEP Technikum FEP Gebäude Teil A
	Bedarf: FEP Technikum		Bedarf: FEP Technikum
Speicher 3:	Ertrag: IKTS Neubau IKTS Altbau IKTS Technikum FEP Gebäude B FEP Gebäude C IFAM	Speicher 3:	Ertrag: IKTS Neubau IKTS Altbau FEP Gebäude B FEP Gebäude C
	Bedarf: IKTS Altbau IKTS Ofenhalle		Bedarf: IKTS Altbau

Variante: Institute

Speicher 1:	Ertrag: IWS FEP Gebäude Teil A FEP Gebäude Teil B
	Bedarf: IWS
Speicher 2:	Ertrag: FEP Technikum FEP Gebäude Teil A
	Bedarf: FEP Technikum
Speicher 3:	Ertrag: IKTS Neubau IKTS Altbau FEP Gebäude B Teil FEP Gebäude C
	Bedarf: IKTS Altbau

Anlage II-1 - Wirtschaftlichkeitsnachweis

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung Simulation „Heute“ (II-2)	89
Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung Simulation „Zukunft“ (II-4)	91
Zusammenfassung (II-6)	93
Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung Simulation „Zähler Heute“ (II-7)	94
Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung Simulation „Zähler Zukunft“ (II-9)	96
Zusammenfassung Varianten mit Zähler (II-11)	98
Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung Simulation „Brunnenanlage“ (II-12)	99
Zusammenfassung Variante Brunnen (II-14)	101
Zusammenfassung kombinierter Einsatz der Amortisationsmethode mit der Kapitalwertmethode (II-15)	102

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung Simulation „Heute“ (II-2)

▪ Speicher „RWV Heute“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K (K-250.000*t _A)-> Max		Rechnungseinheiten t _A (K/250.000 -t _A)-> Max	
	K [DM]	t _A [a]				
126	2.262.170	7,76	1.940.000	322.170	9,05	1,29
148	2.317.542	8,1	2.025.000	292.542	9,27	1,17
177	2.320.911	8,41	2.102.500	218.411	9,28	0,87
108	2.127.193	7,96	1.990.000	137.193	8,51	0,55
210	2.309.256	8,81	2.202.500	106.756	9,24	0,43
89	1.994.182	7,88	1.970.000	24.182	7,98	0,10
75	1.888.037	8,05	2.012.500	-124.463	7,55	-0,50
63	1.808.588	7,78	1.945.000	-136.412	7,23	-0,55
48	1.695.045	8,05	2.012.500	-317.455	6,78	-1,27

Tabelle 33: Ergebnisse Simulation Speicher „RWV Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend nach Rechnungseinheiten K/t_A sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „FEP Heute“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K (K-50.000*t _A)-> Max		Rechnungseinheiten t _A (K/50.000 -t _A)-> Max	
	K [DM]	t _A [a]				
25	461.582	9,03	451.500	10.082	9,23	0,20
32	500.936	10,13	506.500	-5.564	10,02	-0,11
48	518.609	11,14	557.000	-38.391	10,37	-0,77
63	520.261	11,44	572.000	-51.739	10,41	-1,03
75	505.545	13,25	662.500	-156.955	10,11	-3,14
89	504.344	13,74	687.000	-182.656	10,09	-3,65
108	491.884	15,41	770.500	-278.616	9,84	-5,57

Tabelle 34: Ergebnisse Simulation Speicher „FEP Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend nach Rechnungseinheiten K/t_A sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „IWS Heute“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t_A	
	K [DM]	t_A [a]	(K-100.000* t_A)-> Max		(K/100.000 - t_A)-> Max	
63	920.897	8,59	859.000	61.897	9,21	0,62
48	864.163	8,78	878.000	-13.837	8,64	-0,14
75	906.172	9,78	978.000	-71.828	9,06	-0,72
25	713.993	7,93	793.000	-79.007	7,14	-0,79
89	904.160	10,13	1.013.000	-108.840	9,04	-1,09
32	754.938	8,66	866.000	-111.062	7,55	-1,11
108	890.887	11,2	1.120.000	-229.113	8,91	-2,29

Tabelle 35: Ergebnisse Simulation Speicher „IWS Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten
gemäß der Gewichtung für K und t_A , absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „IKTS Heute“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t_A	
	K [DM]	t_A [a]	(K-100.000* t_A)-> Max		(K/100.000 - t_A)-> Max	
89	1.267.540	10,26	1.026.000	241.540	12,68	2,42
75	1.229.264	10,26	1.026.000	203.264	12,29	2,03
63	1.158.236	9,95	995.000	163.236	11,58	1,63
108	1.256.692	11,01	1.101.000	155.692	12,57	1,56
126	1.256.845	11,26	1.126.000	130.845	12,57	1,31
48	1.044.292	10,55	1.055.000	-10.708	10,44	-0,11
25	896.038	10,03	1.003.000	-106.962	8,96	-1,07
32	936.198	10,49	1.049.000	-112.802	9,36	-1,13

Tabelle 36: Ergebnisse Simulation Speicher „IKTS Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten
gemäß der Gewichtung für K und t_A , absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung Simulation „Zukunft“ (II-4)

▪ Speicher „RWV Zukunft“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-400.000*t _A)-> Max		(K/400.000 -t _A)-> Max	
177	3.021.570	7,88	2.758.000	263.570	8,63	0,75
210	3.011.118	8,19	2.866.500	144.618	8,60	0,41
148	2.814.414	8,05	2.817.500	-3.086	8,04	-0,01
126	2.661.066	7,99	2.796.500	-135.434	7,60	-0,39
108	2.523.283	8,18	2.863.000	-339.717	7,21	-0,97
89	2.386.662	8,13	2.845.500	-458.838	6,82	-1,31
75	2.278.111	8,29	2.901.500	-623.389	6,51	-1,78
63	2.195.455	8,09	2.831.500	-636.045	6,27	-1,82
48	2.079.105	8,33	2.915.500	-836.395	5,94	-2,39

Tabelle 37: Ergebnisse Simulation Speicher „RWV Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „FEP Zukunft“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-100.000*t _A)-> Max		(K/100.000 -t _A)-> Max	
63	851.650	7,66	766.000	85.650	8,52	0,86
48	809.873	7,71	771.000	38.873	8,10	0,39
25	654.412	6,71	671.000	-16.588	6,54	-0,17
75	839.338	8,90	890.000	-50.662	8,39	-0,51
32	695.768	7,61	761.000	-65.232	6,96	-0,65
89	840.941	9,26	926.000	-85.059	8,41	-0,85
108	832.084	10,47	1.047.000	-214.916	8,32	-2,15

Tabelle 38: Ergebnisse Simulation Speicher „FEP Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „IWS Zukunft“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t_A	
	K [DM]	t_A [a]	(K-150.000* t_A)-> Max		(K/150.000 - t_A)-> Max	
63	1.169.651	7,22	1.083.000	86.651	7,80	0,58
75	1.219.298	7,82	1.173.000	46.298	8,13	0,31
89	1.218.885	8,08	1.212.000	6.885	8,13	0,05
48	1.054.931	7,62	1.143.000	-88.069	7,03	-0,59
25	900.764	6,76	1.014.000	-113.236	6,01	-0,75
108	1.207.211	8,93	1.339.500	-132.289	8,05	-0,88
32	943.307	7,41	1.111.500	-168.193	6,29	-1,12

Tabelle 39: Ergebnisse Simulation Speicher „IWS Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A , absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „IKTS Zukunft“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t_A	
	K [DM]	t_A [a]	(K-150.000* t_A)-> Max		(K/150.000 - t_A)-> Max	
89	1.694.829	8,95	1.342.500	352.329	11,30	2,35
108	1.686.787	9,55	1.432.500	254.287	11,25	1,70
126	1.691.528	9,74	1.461.000	230.528	11,28	1,54
75	1.484.375	9,72	1.458.000	26.375	9,90	0,18
63	1.407.733	9,45	1.417.500	-9.767	9,38	-0,07
48	1.291.384	9,95	1.492.500	-201.116	8,61	-1,34
25	1.139.522	9,46	1.419.000	-279.478	7,60	-1,86
32	1.180.483	9,87	1.480.500	-300.017	7,87	-2,00

Tabelle 40: Ergebnisse Simulation Speicher „IKTS Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A , absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

Zusammenfassung (II-6)

Variante „RWV Heute“	Kapitalwert [DM]	Amortisationsdauer [a]
Höchster Kapitalwert	2.841.172	8,98
Kürzeste Amortisationsdauer	2.723.752	7,98
Kombination	2.723.752	7,98

Tabelle 41: Zusammenfassung für Variante „RWV Heute“

(Eigene Darstellung)

Variante „Institute Heute“	Kapitalwert [DM]	Amortisationsdauer [a]
Höchster Kapitalwert	2.708.698	9,97
Kürzeste Amortisationsdauer	2.333.812	9,14
Kombination	2.650.020	9,48

Tabelle 42: Zusammenfassung für Variante „Institute Heute“

(Eigene Darstellung)

Variante „RWV Zukunft“	Kapitalwert [DM]	Amortisationsdauer [a]
Höchster Kapitalwert	3.873.220	7,83
Kürzeste Amortisationsdauer	3.670.982	7,62
Kombination	3.873.220	7,83

Tabelle 43: Zusammenfassung für Variante „RWV Zukunft“

(Eigene Darstellung)

Variante „Institute Zukunft“	Kapitalwert [DM]	Amortisationsdauer [a]
Höchster Kapitalwert	3.765.778	8,30
Kürzeste Amortisationsdauer	3.250.005	7,91
Kombination	3.716.130	8,12

Tabelle 44: Zusammenfassung für Variante „Institute Zukunft“

(Eigene Darstellung)

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung Simulation „Zähler Heute“ (II-7)

▪ Speicher „RWV Zähler Heute“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-300.000*t _A)-> Max		(K/300.000 -t _A)-> Max	
48	2.344.514	6,26	1.878.000	466.514	7,82	1,56
63	2.351.980	6,34	1.902.000	449.980	7,84	1,50
75	2.349.023	6,80	2.040.000	309.023	7,83	1,03
89	2.357.413	6,92	2.076.000	281.413	7,86	0,94
108	2.357.201	7,35	2.205.000	152.201	7,86	0,51
126	2.365.258	7,49	2.247.000	118.258	7,88	0,39
148	2.359.229	7,99	2.397.000	-37.771	7,86	-0,13
177	2.373.828	8,27	2.481.000	-107.172	7,91	-0,36
210	2.365.324	8,65	2.595.000	-229.676	7,88	-0,77

Tabelle 45: Ergebnisse Simulation Speicher „RWV Zähler Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „FEP Zähler Heute“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-50.000*t _A)-> Max		(K/50.000 -t _A)-> Max	
25	519.266	8,26	413.000	106.266	10,39	2,13
32	509.419	10,00	500.000	9.419	10,19	0,19
48	506.006	11,33	566.500	-60.494	10,12	-1,21
63	511.374	11,58	579.000	-67.626	10,23	-1,35
75	499.567	13,35	667.500	-167.933	9,99	-3,36
89	501.598	13,79	689.500	-187.902	10,03	-3,76
108	493.257	15,38	769.000	-275.743	9,87	-5,51

Tabelle 46: Ergebnisse Simulation Speicher „FEP Zähler Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „IWS Zähler Heute“

Speichergröße	Tatsächliche Größe		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-70.000*t _A)-> Max		(K/70.000 -t _A)-> Max	
25	787.754	7,36	515.200	272.554	11,25	3,89
32	780.306	8,45	591.500	188.806	11,15	2,70
48	776.102	9,55	668.500	107.602	11,09	1,54
63	782.262	9,75	682.500	99.762	11,18	1,43
75	770.445	11,01	770.700	-255	11,01	0,00
89	771.261	11,35	794.500	-23.239	11,02	-0,33
108	761.381	12,49	874.300	-112.919	10,88	-1,61

Tabelle 47: Ergebnisse Simulation Speicher „IWS Zähler Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „IKTS Zähler Heute“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-150.000*t _A)-> Max		(K/150.000 -t _A)-> Max	
25	1.281.971	7,63	1.144.500	137.471	8,55	0,92
32	1.273.253	8,32	1.248.000	25.253	8,49	0,17
48	1.268.888	9,1	1.365.000	-96.112	8,46	-0,64
63	1.276.835	9,22	1.383.000	-106.165	8,51	-0,71
75	1.260.530	10,08	1.512.000	-251.470	8,40	-1,68
89	1.270.368	10,24	1.536.000	-265.632	8,47	-1,77
108	1.270.368	10,96	1.644.000	-373.632	8,47	-2,49

Tabelle 48: Ergebnisse Simulation Speicher „IKTS Zähler Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung Simulation „Zähler Zukunft“ (II-9)

▪ Speicher „RWV Zähler Zukunft“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-450.000*t _A)-> Max		(K/450.000 -t _A)-> Max	
48	3.023.492	6,24	2.808.000	215.492	6,72	0,48
63	3.035.139	6,30	2.835.000	200.139	6,74	0,44
75	3.037.166	6,64	2.988.000	49.166	6,75	0,11
89	3.049.577	6,73	3.028.500	21.077	6,78	0,05
108	3.054.996	7,06	3.177.000	-122.004	6,79	-0,27
126	3.067.555	7,16	3.222.000	-154.445	6,82	-0,34
148	3.066.110	7,54	3.393.000	-326.890	6,81	-0,73
177	3.089.954	7,75	3.487.500	-397.546	6,87	-0,88
210	3.083.622	8,04	3.618.000	-534.378	6,85	-1,19

Tabella 49: Ergebnisse Simulation Speicher „RWV Zähler Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „FEP Zähler Zukunft“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-120.000*t _A)-> Max		(K/120.000 -t _A)-> Max	
25	832.185	5,56	667.200	164.985	6,93	1,37
32	825.552	6,68	801.600	23.952	6,88	0,20
48	827.763	7,59	910.800	-83.037	6,90	-0,69
63	838.275	7,76	931.200	-92.925	6,99	-0,77
75	830.244	8,99	1.078.800	-248.556	6,92	-2,07
89	836.694	9,31	1.117.200	-280.506	6,97	-2,34
108	833.978	10,46	1.255.200	-421.222	6,95	-3,51

Tabella 50: Ergebnisse Simulation Speicher „FEP Zähler Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „IWS Zähler Zukunft“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-200.000*t _A)-> Max		(K/200.000 -t _A)-> Max	
25	1.186.068	5,45	1.090.000	96.068	5,93	0,48
32	1.181.107	6,23	1.246.000	-64.893	5,91	-0,32
48	1.180.756	7,00	1.400.000	-219.244	5,90	-1,10
63	1.190.045	7,13	1.426.000	-235.955	5,95	-1,18
75	1.180.635	8,03	1.606.000	-425.365	5,90	-2,13
89	1.183.939	8,27	1.654.000	-470.061	5,92	-2,35
108	1.176.628	9,12	1.824.000	-647.372	5,88	-3,24

Tabelle 51: Ergebnisse Simulation Speicher „IWS Zähler Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „IKTS Zähler Zukunft“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-200.000*t _A)-> Max		(K/200.000 -t _A)-> Max	
25	1.694.744	7,00	1.400.000	294.744	8,47	1,47
32	1.687.232	7,53	1.506.000	181.232	8,44	0,91
48	1.687.289	8,12	1.624.000	63.289	8,44	0,32
63	1.699.016	8,20	1.640.000	59.016	8,50	0,30
75	1.691.717	8,79	1.758.000	-66.283	8,46	-0,33
89	1.698.339	8,94	1.788.000	-89.661	8,49	-0,45
108	1.696.960	9,52	1.904.000	-207.040	8,48	-1,04
126	1.705.379	9,69	1.938.000	-232.621	8,53	-1,16
148	1.702.648	10,31	2.062.000	-359.352	8,51	-1,80

Tabelle 52: Ergebnisse Simulation Speicher „IKTS Zähler Zukunft“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

Zusammenfassung Varianten mit Zähler (II-11)

„RWV Zähler Heute“	Kapitalwert [DM]	Amortisationsdauer [a]
Höchster Kapitalwert	2.892.681	7,93
Kürzeste Amortisationsdauer	2.863.367	6,27
Kombination	2.863.367	6,27

Tabelle 53: Zusammenfassung für Variante „RWV Zähler Heute“

(Eigene Darstellung)

„Institute Zähler Heute“	Kapitalwert [DM]	Amortisationsdauer [a]
Höchster Kapitalwert	2.588.371	7,69
Kürzeste Amortisationsdauer	2.588.371	7,69
Kombination	2.588.371	7,69

Tabelle 54: Zusammenfassung für Variante „Institute Zähler Heute“

(Eigene Darstellung)

„RWV Zähler Zukunft“	Kapitalwert [DM]	Amortisationsdauer [a]
Höchster Kapitalwert	3.928.228	7,75
Kürzeste Amortisationsdauer	3.855.677	6,10
Kombination	3.855.677	6,10

Tabelle 55: Zusammenfassung für Variante „RWV Zähler Zukunft“

(Eigene Darstellung)

„Institute Zähler Zukunft“	Kapitalwert [DM]	Amortisationsdauer [a]
Höchster Kapitalwert	3.733.699	8,45
Kürzeste Amortisationsdauer	3.712.997	6,19
Kombination	3.712.997	6,19

Tabelle 56: Zusammenfassung für Variante „Institute Zähler Zukunft“

(Eigene Darstellung)

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung Simulation „Brunnenanlage“ (II-12)

▪ Speicher „RWV Brunnen“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t_A	
	K [DM]	t_A [a]	(K-450.000* t_A)-> Max		(K/450.000 - t_A)-> Max	
126	2.928.617	6,30	2.835.000	93.617	6,51	0,21
148	2.973.965	6,62	2.979.000	-5.035	6,61	-0,01
108	2.803.664	6,38	2.871.000	-67.336	6,23	-0,15
89	2.682.682	6,21	2.794.500	-111.818	5,96	-0,25
177	2.958.483	6,93	3.118.500	-160.017	6,57	-0,36
63	2.517.136	5,98	2.691.000	-173.864	5,59	-0,39
75	2.586.160	6,26	2.817.000	-230.840	5,75	-0,51
48	2.411.212	6,09	2.740.500	-329.288	5,36	-0,73
210	2.941.220	7,27	3.271.500	-330.280	6,54	-0,73

Tabelle 57: Ergebnisse Simulation Speicher „RWV Brunnen“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A , absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „FEP Brunnen“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t_A	
	K [DM]	t_A [a]	(K-60.000* t_A)-> Max		(K/60.000 - t_A)-> Max	
25	602.033	7,80	468.000	134.033	10,03	2,23
32	637.381	8,72	523.200	114.181	10,62	1,90
48	647.845	9,74	584.400	63.445	10,80	1,06
63	643.089	10,11	606.600	36.489	10,72	0,61
75	623.567	11,67	700.200	-76.633	10,39	-1,28
89	616.759	12,17	730.200	-113.441	10,28	-1,89
108	597.489	13,68	820.800	-223.311	9,96	-3,72

Tabelle 58: Ergebnisse Simulation Speicher „FEP Brunnen“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A , absteigend sortiert
(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „IWS Brunnen“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-150.000*t _A)-> Max		(K/150.000 -t _A)-> Max	
63	1.188.503	7,20	1.080.000	108.503	7,92	0,72
25	1.001.986	6,30	945.000	56.986	6,68	0,38
48	1.138.565	7,25	1.087.500	51.065	7,59	0,34
32	1.037.335	6,96	1.044.000	-6.665	6,92	-0,04
75	1.168.981	8,13	1.219.500	-50.519	7,79	-0,34
89	1.162.172	8,43	1.264.500	-102.328	7,75	-0,68
108	1.142.904	9,37	1.405.500	-262.596	7,62	-1,75

Tabelle 59: Ergebnisse Simulation Speicher „IWS Brunnen“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für

K und t_A, absteigend sortiert

(Eigene Darstellung)

▪ Speicher „IKTS Brunnen“

Speichergröße	Tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-180.000*t _A)-> Max		(K/180.000 -t _A)-> Max	
89	1.680.543	8,25	1.485.000	195.543	9,34	1,09
75	1.637.100	8,23	1.481.400	155.700	9,10	0,87
63	1.568.076	7,88	1.418.400	149.676	8,71	0,83
108	1.661.275	8,89	1.600.200	61.075	9,23	0,34
48	1.462.152	8,17	1.470.600	-8.448	8,12	-0,05
25	1.328.333	7,45	1.341.000	-12.667	7,38	-0,07
32	1.363.681	7,90	1.422.000	-58.319	7,58	-0,32

Tabelle 60: Ergebnisse Simulation Speicher „IKTS Brunnen Heute“ mit abgeleiteten Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für K und t_A, absteigend sortiert

(Eigene Darstellung)

Zusammenfassung Variante Brunnen (II-14)

„RWV Brunnen“	Kapitalwert [DM]	Amortisationsdauer [a]
Höchster Kapitalwert	3.621.810	7,21
Kürzeste Amortisationsdauer	3.199.169	6,34
Kombination	3.530.650	6,57

Tabelle 61: Zusammenfassung für Variante „RWV Brunnen“

(Eigene Darstellung)

„Institute Brunnen“	Kapitalwert [DM]	Amortisationsdauer [a]
Höchster Kapitalwert	3.516.892	8,18
Kürzeste Amortisationsdauer	2.932.352	7,14
Kombination	3.471.080	7,82

Tabelle 62: Zusammenfassung für Variante „Institute Brunnen“

(Eigene Darstellung)

Zusammenfassung kombinierter Einsatz der Amortisationsmethode mit der Kapitalwertmethode (II-15)

Variante	tatsächliche Werte		Rechnungseinheiten K		Rechnungseinheiten t _A	
	K [DM]	t _A [a]	(K-500.000*t _A) -> Max		(K/500.000 - t _A) -> Max	
RWV Zähler Zukunft	3.855.677	6,10	3.050.000	805.677	7,71	1,61
Institute Zähler Zukunft	3.712.997	6,19	3.095.000	617.997	7,43	1,24
RWV Brunnen	3.530.650	6,57	3.285.000	245.650	7,06	0,49
RWV Zukunft	3.873.220	7,83	3.915.000	-41.780	7,75	-0,08
RWV Zähler Heute	2.863.367	6,27	3.135.000	-271.633	5,73	-0,54
Institute Zukunft	3.716.130	8,12	4.060.000	-343.870	7,43	-0,69
Variante Institute Brunnen	3.471.080	7,82	3.910.000	-438.920	6,94	-0,88
Institute Zähler Heute	2.588.371	7,69	3.845.000	-1.256.629	5,18	-2,51
RWV Heute	2.723.752	7,98	3.990.000	-1.266.248	5,45	-2,53
Institute Heute	2.650.020	9,48	4.740.000	-2.089.980	5,30	-4,18

Tabelle 63: Abgeleitete Rechnungseinheiten gemäß der Gewichtung für Kapitalwert und Amortisationsdauer, absteigend sortiert

(Eigene Darstellung)

Anlage III-1 – Ökologische Analyse

Emissionsbilanz für die Herstellung der Materialien (III-2)	104
Vorlage für eine Emissionsbilanz für Emissionen aus Transporten (III-3)	105

Emissionsbilanz für die Herstellung der Materialien (III-2)

				Einzelwerte	Bestandteil der RWNA	
					2 Pumpen	Rohrsystem Zisterne-Kühlturm
					21 kg Stahl	28 kg PE-HD
					Lebensdauer 15 a	Lebensdauer 45 a
Werte pro Werkstoff und kg	PE	Luftschad- stoffe (in g)	Partikel	0,05		
			CO	1,73		
			CO ₂	k. A.		
			N ₂ O	0,00		
			NOx	5,30		
			SO ₂	1,28		
			HC	11,36		
Werte pro Werkstoff und kg	Stahl/Kupfer (hier: Weiß- blech; Re- cyclingquo- te 50%)	Luftschad- stoffe (in g)	Partikel	13,28		
			CO	1,66		
			CO ₂	k. A.		
			N ₂ O	0,31		
			NOx	2,53		
			SO ₂	6,82		
			HC	10,62		
Werte pro Objekt (gesamt)	Luftschad- stoffe (in g)	Partikel		278,88	1,29	
		CO		34,86	48,47	
		CO ₂		k. A.	k. A.	
		N ₂ O		6,51	0,00	
		NOx		53,13	148,48	
		SO ₂		143,22	35,92	
		HC		223,02	317,97	
Werte pro Objekt und Jahr	Luftschad- stoffe (in g)	Partikel		18,59	0,03	
		CO		2,32	1,08	
		CO ₂		k. A.	k. A.	
		N ₂ O		0,43	0,00	
		NOx		3,54	3,30	
		SO ₂		9,55	0,80	
		HC		14,87	7,07	

Tabelle 64: Emissionen bei Herstellung der Materialien
(in Anlehnung an Müller, U.; Sundmacher, T. (1996), S. 97)

Vorlage für eine Emissionsbilanz für Emissionen aus Transporten (III-3)

					Einzelwerte	Emissionsdaten durch Transport		Summen	
						2Pumpen	Rohrsystem Zis- terne-Kühlturm		Belastungen durch die RWNA
							21 kg Stahl Lebensdauer 15 a		
Transporte	Luftschad- stoffe (in g)	von PKW pro 100 km Fahr- leistung	Diesel	Partikel	10,00				
				CO	k. A.				
				CO ₂	19500,00				
				N ₂ O	k. A.				
				NOx	24,00				
				SO ₂	57,00				
				HC	k. A.				
		geregelter Kat	Partikel	k. A.					
			CO	k. A.					
			CO ₂	22500					
			N ₂ O	k. A.					
			NOx	4,65					
			SO ₂	37,5					
		von LKW pro Tonnenkilome- ter	Partikel	1					
	CO		5						
	CO ₂		k. A.						
	N ₂ O		0,001						
	NOx		15						
	SO ₂		k. A.						
HC	4,4								
Transportentfernungen (in km)		LKW							
		PKW Diesel							
		PKW geregelter Kat							
Werte pro Objekt (gesamt)	Luftschad- stoffe (in g)	Partikel							
		CO							
		CO ₂							
		N ₂ O							
		NOx							
		SO ₂							
		HC							
Werte pro Objekt und Jahr	Luftschad- stoffe (in g)	Partikel							
		CO							
		CO ₂							
		N ₂ O							
		NOx							
		SO ₂							
		HC							

Tabelle 65: Gesamtemissionen der RWNA aus Transporten

(Eigene Darstellung)

Literaturverzeichnis

Adam, D. (1996): Investitionscontrolling. München 1996.

Akkermann, M. H.; Gieska, M. (1999): Methode zur kostengünstigen Einschätzung der räumlichen Standortbedingungen für eine dezentrale Regenwasserversickerung. In: BVB – Bundesverband Boden (Hrsg.): Regenwasserversickerung und Bodenschutz, S. 112 – 121. Berlin 1999.

Boermans-Schwarz, T. (1998): Materialintensitäts-Analyse von Anlagen zur Nutzung von Regenwasser im Haushalt im Kontext einer nachhaltigen Wasserwirtschaft. Wuppertal 1998.

Borneff, M. (1996): Risikobewertung der Nutzung von Regen- und Dachablaufwasser. Stuttgart 1996.

Bredow, W. (1988): Regenwasser Sammelanlage. Staufen bei Freiburg 1988.

Brüggemann, K. (1995): Regenwassernutzung aus der Sicht eines Wasserversorgungsunternehmens. In: Bund für Umwelt und Naturschutz (Hrsg.): Regenwassernutzung – eine sinnvolle Möglichkeit zur Trinkwassereinsparung, BUND-Dokumente Band 5, S. 15 - 19. Göttingen 1995.

Bullermann, M.; Busweiler, U.; Klein, B.; Rexroth, R.; Sell-Foro, W. (1989): Regenwassernutzung in privaten und öffentlichen Gebäuden. Schriftenreihe WAR 40, Institut für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt. Darmstadt 1989.

Bullermann, M. (1996): Bedeutung und Entwicklung der Betriebs- und Regenwassernutzung. In: fbr (Hrsg.): Zukunft der Regenwassernutzung, Schriftenreihe fbr Band 1, S. 5 - 10. Frankfurt 1996.

Bullermann, M.; Klein, B.; fbr (Hrsg.) (1996): Regenwassernutzung in privaten und öffentlichen Gebäuden – Qualitative Aspekte. Schriftenreihe fbr Band 2. Reinheim 1996.

Bundesverband der deutschen Gas und Wasser e. V.(Hrsg.) (2001): Wasser ist Leben – Trinkwasserpreis. Online im Internet. <<http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/> ff., Stand: o. A., Abfrage 23.03.2001, 17.35 Uhr.

Cichorowski, G.; Bernhard, M.; Zorn, D. (1986): Wasser sparen. Wiesbaden 1986.

Däumler, K.-D. (1992): Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung. 7., vollständig überarbeitete Auflage, Berlin 1992.

Deltau, G. (1998): Neue Produkte und Verfahren im Bereich der Betriebswassernutzung. In: fbr (Hrsg.): Innovation Betriebs- und Regenwassernutzung, Schriftenreihe fbr Band 3, S. 5 - 22. Frankfurt 1998.

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.) (1988): DIN 1986 Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke. Berlin 1988.

DVWG Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (Hrsg.) (1991): twin – Informationen des DVWG zur Trinkwasser-Installation: Regenwasseranlagen – Leitungsgebundene Nutzung von Dachablaufwasser durch Regenwasseranlagen, Blatt 5, 10/91.

Einkommenssteuerrecht 1996 (EStRecht 1996) mit Einkommenssteuergesetz (EStG), Einkommenssteuer-Durchführungsverordnung (EStDV) und Einkommenssteuer-Richtlinien (EStR). 10. Auflage, München 1996.

- fbr** (Hrsg.) (2001): Kombination von Regenwassernutzung und Versickerung – wie? Online im Internet. <<http://www.fbr.de/thema/versickerung.htm>>, Stand: o. A., Abfrage 19.04.2001, 22.15 Uhr.
- fbr** (Hrsg.) (2001): Aufbau einer Regenwassernutzungsanlage. Online im Internet. <<http://www.fbr.de/thema/Aufbau.htm>>, Stand: o. A., Abfrage 15.01.2001, 13.25 Uhr.
- Fraunhofer-Gesellschaft** (Hrsg.) (1995): Geotechnisches Gutachten – Hauptuntersuchung zur Beurteilung der Baugrund- und Gründungsverhältnisse. München 1995.
- Fraunhofer-Gesellschaft** (Hrsg.) (1999): Die Fraunhofer-Gesellschaft von A bis Z. München 1999.
- Fraunhofer-Institutszentrum Dresden** (Hrsg.) (1999): Fraunhofer-Institutszentrum Dresden Geschichte. Online im Internet. <<http://www.izd.fhg.de/german/geschichte/index.html>> Stand: 1999, Abfrage 22.02.2001, 16.40 Uhr.
- Glatzel, W.-D.; Heise, K.-D.** (1979): Wärmepumpen und Gewässerschutz. Berlin 1979.
- Gohl** (Hrsg.) (1995): Dunstturm, Prospekt dt 25.
- Heinrichs, F.-J.** (1998): Regelwerke für die Betriebswassernutzung – Bremse oder Hilfe für die Entwicklung? In: fbr (Hrsg.): Innovation Betriebs- und Regenwassernutzung, Schriftenreihe fbr Band 3, S. 23 - 30. Frankfurt 1998.
- Holländer, R.** (1995): Regenwassernutzung, hygienisch bedenklich? In: Bund für Umwelt und Naturschutz (Hrsg.): Regenwassernutzung – eine sinnvolle Möglichkeit zur Trinkwassereinsparung, BUND-Dokumente Band 5, S. 25 - 31. Göttingen 1995.
- Holländer, R.** (1998): Regenwassernutzung - Hygienische Aspekte. In: Wasserwirtschaft, 88. Jg., 1998, Heft 2, S. 60 - 64
- Ingenieurbüro Breidenbach & Eggers** (Hrsg.) (2000): Dezentrale Oberflächenentwässerung – Ein Beitrag zum praktischen Einsatz für Planer, Kommunen und interessierte Privatpersonen. Sunderburg 2000.
- Kocsis, G.** (1988): Wasser nutzen, verbrauchen oder verschwenden? Karlsruhe 1988.
- König, K. W.** (1996): Regenwasser in der Architektur. Staufen bei Freiburg 1996.
- König, K. W.** (1996): Regenwassernutzung von A-Z. Pfohren 1996.
- König, K. W.** (1996): Wirtschaftliche Nutzung von Regenwasser? – Herausforderung an Technik und sicheren Betrieb. In: fbr (Hrsg.): Zukunft der Regenwassernutzung, Schriftenreihe fbr Band 1, S. 23 - 38. Frankfurt 1996.
- König, K. W.** (1996): Zum Umgang mit Regenwasser – Ein Leitfaden für Kommunen in Deutschland. Pfohren 1996.
- König, K. W.** (1998): Regenwassernutzung: Ökologie und Ökonomie, Stand der Technik. In: Wasserwirtschaft, 88. Jg., 1998, Heft 2, S. 56 – 59.
- König, K. W.** (1998): Fünf Argumente pro und contra Regenwassernutzung. In: fbr-Wasserspiegel, 1998, Heft 3, S. 12.

- König, K. W.** (1999): Ein Berliner Projekt mit Signalwirkung – Haus des Deutschen Städtetages – Regenwassernutzung im Verwaltungsgebäude. In: IKZ-Haustechnik, 1999, Heft 5, S. 32 ff.. [auch elektronisch veröffentlicht, <<http://www.ikz.de/>> Stand: o. A., Abfrage: 20.02.2001, 10.48 Uhr].
- Kramer, B.; Skolomowski, C.** (1997): Nutzung von Regenwasser für betriebliche Zwecke. In: Maschinenmarkt, 103. Jg., 1997, Heft 32, S. 18 – 21.
- Krcmar, H.; Dold, G.; Fischer, H.; Strobel, M.; Seifert, K.** (2000): Informationssysteme für das Umweltmanagement. München Wien 2000.
- Landeshauptstadt Dresden** (Hrsg.) (1999): Mit Regenwasser wirtschaften. Broschüre, Dresden 1999.
- Landeshauptstadt Dresden** (Hrsg.) (2000): Welche Förderprogramme für umweltschonende Vorhaben können Bauherren in Dresden nutzen? Online im Internet. <http://www.dresden.de/rootger.gen/wegweiser/vorgang/foerdermittel_00.pdf> Stand: August 2000, Abfrage 02.02.2001, 10.05.
- LAWA** (Hrsg.) (1998): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen. Berlin 1998.
- Londong, D.** (1999): Bauen mit Regenwasser. München 1999.
- Lücke, F.-K.** (1998): Betriebswasser in Trinkwasserqualität – Sinn oder Unsinn? In: fbr (Hrsg.): Innovation Betriebs- und Regenwassernutzung, Schriftenreihe fbr Band 3, S. 31 - 46. Frankfurt 1998.
- MALLBETON** (Hrsg.) (2001): Nutzung, Versickerung, Rückhaltung und Behandlung von Regenwasser, Prospektheft. Donaueschingen 2001.
- MALLBETON** (Hrsg.) (2000): MALL-Regenwasser-Filterschacht für Großanlagen, Prospektheft. Donaueschingen 2001.
- Mohrbacher, A.** (2001): Regenwassernutzung im häuslichen Bereich – kein Gesundheitsrisiko. Online im Internet. <<http://www.amres.de/hygiene.htm>> Stand: o. A., Abfrage 02.07.2001, 15.35 Uhr.
- Müller, U.; Sundmacher, T.** (1996): Ökobilanzen und Regenwassernutzung – Problemlösung ausgerechnet am Beispiel Regenwasser? In: fbr (Hrsg.): Zukunft der Regenwassernutzung, Schriftenreihe fbr Band 1, S. 23 - 38. Frankfurt 1996.
- Müller, W.;** u.a. (1993): Elektrotechnik, Fachbildung Energieelektronik. 2. Auflage, Braunschweig 1993.
- Nautilus** (Hrsg.) (2001): Grundlagen – Gesetzliche Anforderungen. Online im Internet. <<http://www.nautilus-regenwassernutzung.de/grundlagen.html/>> Stand: o. A., Abfrage 20.02.2001, 10.33 Uhr.
- Nolde, E.** (1996): Neue Erkenntnisse zur Qualität und Hygiene von Regenwasseranlagen. In: fbr (Hrsg.): Zukunft der Regenwassernutzung, Schriftenreihe fbr Band 1, S. 51 - 72. Frankfurt 1996.
- Pagel, R.** (1999): Regenwasser-Nutzung. Aachen 1999.
- Perridon, L.; Steiner, M.** (1991): Finanzwirtschaft der Unternehmung. 6., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage, München 1991.

- Pöttgen, T. G.** (1998): Die Rechtliche Situation der Brauch- und Regenwassernutzung. In: fbr-Wasserspiegel, 1998, Heft 1, S. 16-17.
- Pütz, H.-J.** (1992): Wasser und Regenwasser: Verwenden oder Verschwenden? Hildesheim 1992.
- Rheinschmidt, R.; Schweitzer, K.** (1996): Das Regenwasser und seine Qualitäten. In: Wagner&Co (Hrsg.): Regenwasser nutzen – Technik, Planung und Montage. S. 11 – 26, Cölbe 1996.
- Rheinschmidt, R.; Schweitzer, K.** (1996): Die Planung einer Regenwasseranlage. In: Wagner&Co (Hrsg.): Regenwasser nutzen – Technik, Planung und Montage. S. 63 – 82, Cölbe 1996.
- Rubik, F.; Teichert, V.** (1997): Ökologische Produktpolitik. Stuttgart 1997.
- S&L TerraSoft GmbH** (Hrsg.) (1999): RainWater – Das Benutzerhandbuch zum Windows-Programm RainWater für die Auslegung und Simulation von Regenwassernutzungsanlagen. Pforzheim 1999.
- Sächsisches Wassergesetz (SächsWG)** vom 23. Februar (SächsGVBl. S. 201), geändert durch Gesetz vom 4. Juli 1994 (SächsGVBl. S. 1261)
- Sander, H. P.** (1998): Status Quo und Entwicklungspotential der Betriebswassernutzung in Gewerbe und Industrie. In: fbr (Hrsg.): Innovation Betriebs- und Regenwassernutzung, Schriftenreihe fbr Band 3, S. 109 - 120. Frankfurt 1998.
- Schaltegger, S.; Sturm, A.** (1992): Ökologieorientierte Entscheidungen in Unternehmen, Ökologisches Rechnungswesen statt Ökobilanzierung: Notwendigkeit, Kriterien, Konzepte. Basel 1992.
- Schmidt, H.** (1986): Untersuchungen zur Regenwassernutzung in Wohnbauten. Hildesheim 1986.
- Schmidt, M.; Schorb, A.** (1995): Stoffstromanalysen. Berlin Heidelberg 1995.
- Schüle, E.; Schlichting, B.** (1994): Regenwassernutzung – eine Modeerscheinung?. In: Rott, U. (Hrsg.): Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 133, S. 163 - 182. Stuttgart 1994.
- Schweitzer, K.** (1996): Die Technik einer Regenwasseranlage. In: Wagner&Co (Hrsg.): Regenwasser nutzen – Technik, Planung und Montage. S. 27 - 62, Cölbe 1996.
- Sperfeld, D.** (2000): Ökologische Aspekte der Nutzung von Regenwasser als Betriebswasser im Haushalt. In: fbr-Wasserspiegel, 2000, Heft 3, S. 7.
- Springer, G.** (1989): Fachkunde Elektrotechnik. 18. völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage, Wuppertal 1989.
- Stadtverwaltung Dresden** (2001): Grundwasser, Nutzung. Online im Internet. <<http://www.dresden.de/rootger.gen/wegweiser/t/2512.html>>, Stand o. A., Abfrage 04.06.2001, 18.37 Uhr.
- Statistisches Bundesamt** (Hrsg.) (2000): Datenreport 1999. Bonn 2000.
- Steinle, D.** (2000): Planung und Bau von Regenwassernutzungsanlagen. Lemwerden 2000.
- Umweltbundesamt UBA** (Hrsg.) (1999): Betriebliche Umweltauswirkungen. Berlin 1999.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure** (Hrsg.) (1991): VDI Richtlinien - Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen. Düsseldorf 1991

- Wack, H.-O.** (1995): Regenwassernutzung in Großobjekten und Inselversorgungen. In: Bund für Umwelt und Naturschutz (Hrsg.): Regenwassernutzung – eine sinnvolle Möglichkeit zur Trinkwassereinsparung, BUND-Dokumente Band 5, S. 45 – 49. Göttingen 1995.
- Weigelt, B.** (1995): Grundlagen der Trinkwasseraufbereitung. Dresden 1995.
- Wilhelm, M.** (2000): Regenwasser im Industriebetrieb: Vorteil liegt im Detail! In: fbr-Wasserspiegel, 2000, Heft 3, S. 16-17.
- WILO (Hrsg.)** (2000): Hilfe - WILO Select. Dortmund 2000.
- Winje, D; Witt, D.** (1983): Industrielle Wassernutzung. In: Bundesminister des Innern (Hrsg.): Wasserversorgungsbericht, Teil B: Materialien, Band 5. Berlin 1983.
- Zentralverband Sanitär Heizung Klima** (1993): Regenwassernutzung aus der Sicht des Handwerks. In: Kommunale Umweltaktion (Hrsg.): Schriftenreihe der Kommunalen Umweltaktion, Heft 14, S. 25 – 29. Hannover 1993.
- Zentrum für Energie und Wasser der Handwerkskammer Hamburg** (Hrsg.) (1991): Praxisratgeber Regenwassernutzung. Hamburg 1991.
- Zeisel, J.** (1998): Grauwassernutzung – Perspektive für Geschosswohnungsbauten und Gewerbe. In: fbr (Hrsg.): Innovation Betriebs- und Regenwassernutzung, Schriftenreihe fbr Band 3, S. 47 - 86. Frankfurt 1998.

In dieser Reihe sind bisher erschienen:

<i>Nummer</i>	<i>Autoren</i>	<i>Titel</i>
01/1996	Günther, T. / White, M. / Günther E. (Hrsg.) Schill, O.	Ökobilanzen als Controllinginstrument  Download
02/1998	Günther, E. (Hrsg.) Salzmann, O.	Revisionäre Zeit- und Geschwindigkeitsbetrachtungen im Dreieck des Sustainable Development  Download
03/2000	Günther, E. / Schill, O. (Hrsg.) Klauke, I.	Kommunales Umweltmanagement: Theoretische Anforderungen und Einordnung vorhandener Ansätze  Download
04/2000	Günther, E. (Hrsg.) Krebs, M.	Aufgaben- und Organisationsstruktur der Umweltpolitik in der Bundesrepublik Deutschland  Download
05/2000	Günther, E. / Schill, O. (Hrsg.) Sicker, B.	Umweltfreundliche Beschaffung und Abfallmanagement in öffentlichen Einrichtungen - Eine Untersuchung am Landratsamt Bautzen und Klinikum Bautzen-Bischofswerda  Download
	Günther, E. / Thomas, P. (Hrsg.) Wollmann, R.	Integration des Instrumentes Environment-oriented Cost Management in die Controllingprozesse von Unternehmen in Entwicklungsländern Ergebnisse der Zusammenarbeit mit dem Pilotvorhaben zur Unterstützung umweltorientierter Unternehmensführung in Entwicklungsländern (P3U) der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) Erschienen in den Dresdner Beiträge zur Betriebswirtschaftslehre Nr. 50/01  Download
06/2001	Günther, E. / Berger, A. (Hrsg.) Kaulich, S.	Ermittlung kritischer Erfolgsfaktoren für die Implementierung der Umweltleistungsmessung in Unternehmen, insbesondere für die Maschinenbaubranche  Download

Fortsetzung:

07/2001	Günther, E. / Berger, A. (Hrsg.) Scheibe, L.	Konzeption eines Umweltkennzahlensystems zur Umweltleistungsmessung für Prozesse unter Beachtung der in Unternehmen vorliegenden Rahmenbedingungen  Download
---------	--	--