Ein Entscheidungshilfesystem für die Planung dezentraler Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Siedlungsgebieten Koreas

vorgelegt von:

M. LA (Master of Landscape Architecture)

Kwon, Kyung Ho

aus Seoul, Südkorea

Von der Fakultät VI – Planen Bauen Umwelt –
der Technischen Universität Berlin

zu Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing.-

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:
Vorsitzender: Prof. Dr. Gerd Wessolek
Berichter: Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch
Berichter: Prof. Dr.-Ing. Heiko Diestel

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 01.September 2008

Berlin 2009

D 83

Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Heiko Diestel für die Betreuung und Unterstützung. Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. Matthias Barjenbruch für die Übernahme der Betreuung und die konstruktiven Hinweise.

Die konstruktiven Diskussionen mit Marco Schmidt und Katharina Teschner lieferten wertvolle Anregungen und Ideen. Ihr Einsatz ermöglichte es mir und Besuchern aus meiner Heimat das innovative Wasserkonzept Berlins kennenzulernen und zu verstehen. Beide bin ich zum großen Dank verpflichtet.

Ich bedanke mich bei Prof. Dr. Han, Moo Young an der Seoul National Universität für seine Unterstützung bei meiner erfolgreichen Bewerbung um das Stipendium der „Kwan-Jeong Lee Jong-Whan“ Stiftung. Mein Dank gilt auch den koreanischen Projektpartnern Dr. Kim, Ree-Ho und Kim, Young Min von „Korean Institut for Construction Technology“ für die Bereitstellung der Niederschlagsdaten und konstruktiven Feedback.

Meine Brüder Jong-Hee und Young-Hee standen mir jeder Zeit für diese Arbeit zur Seite, wofür ich ihnen sehr dankbar bin. Für ihre bedingungslose Liebe bin ich meinen Eltern zu tiefstem Dank verpflichtet.

Für meine Frau Hye-Won Park und meine Kinder Doh-Gil und Doh-Na.

Inhaltsverzeichnis
Abbildungsverzeichnis
Tabellenverzeichnis
Formelzeichen und Abkürzungen
Abstract
Summary

1. Einleitung 1

1.1. Problemstellung 1

1.2. Zielsetzung 2

1.3. Vorgehensweise und Abgrenzung der Arbeit 2

2. Wasserwirtschaftliche Lage Koreas 5

2.1. Geografische und klimatische Gegebenheiten 5

2.1.1. Geografische Gegebenheiten 5

2.1.2. Klimatische Bedingungen 6

2.2. Wasserbilanz 8

2.3. Wassersystem in der Stadt Seoul 9

2.3.1. Trinkwasserversorgung 10

2.3.2. Abwasser- und Regenwasserentsorgung 11

2.4. Anforderungen an dezentrale Regenwasserbewirtschaftung 12

2.4.1. Auswirkung des demographischen Wandels und der Urbanisierung 13

2.4.2. Auswirkungen des Klimawandels 15

3. Dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Deutschland 17

3.1. Rechtliche Grundlagen und Instrumente 17

3.1.1. Gesetze verschiedener Ebene 17

3.1.2. Niederschlagsentgeltsystem 20

3.2. Technische Maßnahmen 21

3.2.1. Anforderung an den neuen Ansatz zur Regenwasserbewirtschaftung in Berlin 21

3.2.2. Modifizierte Kanalisation im Verbund mit dez. RWB-Maßnahmen 22

3.3. Umsetzungsbeispiele in Berlin 25
3.3.1. Neue Wohngebiete Buchholz 25
3.3.2. Stadtzentrum am Potsdamer Platz 26
3.3.3. Renovierungswohngebiet Lankwitz 26
3.3.4. Kulturzentrum Ufa-fabrik 28
3.3.5. Physik-Gebäude der Humbold Universität in Adlershof 28

4. Entscheidungshilfesystem für dezentrale Regenwasser-bewirtschaftungsmaßnahmen 30

4.1. Entscheidungshilfe für die grundsätzlicher Bewirtschaftungsstrategie 30

4.2. Entscheidungshilfe für die Anlagendimensionierung 34

4.3. Software in Deutschland 38

4.4. Einordnung des Entscheidungshilfesystems vor dem Hintergrund anderer vorhandenen Programme 39

5. Aufarbeitung und Bereitstellung der Eingangsdaten sowie Berechnungsverfahren für die Simulationen 41

5.1. Niederschlag und meteorologische Daten 41
5.1.1. Niederschlagsdaten 41
5.1.2. Meteorologische Daten 42

5.2. Evapotranspiration (ET) 43
5.2.1. Evaporation von Wasseroberflächen (E_w) 43
5.2.2. Potenzielle Evapotranspiration (ETp) 45
5.2.3. Gras-Referenzverdunstung (ETo) 48

5.3. Bodenwasserhaushalt 49
5.3.1. Bodenwasserhaushalt im FAO-Modell 50
5.3.2. Bodenwasserhaushalt im ATV-DVWK-Bodenwasserhaushaltsmodell 52
5.3.3. Vergleich der gemessene Daten mit Modellberechnungen 56

5.4. Versickerung bei Bemessungsregen 58
5.4.1. Hydraulische Grundlagen der Versickerungsberechnung 59
5.4.2. Bemessungsansätze für die Muldenversickerung 60

5.5. Zeitbeiwertverfahren zur Ermittlung der Spitzenabflusse 61

5.6. Wirtschaftlichkeit 62

6. Simulationspaket „RainCity-Balance“ für Planung und Konzeptentwicklung66

6.1. Wasserbilanz unter Berücksichtigung der Verdunstung.....67
6.1.1. Klimatische Wasserbilanz..... 67
6.1.2. Wasserbilanz von Stadtgewässern..... 69
6.1.3. Bodenwasserbilanz 72
6.1.4. Strahlungsenergiebilanz 74

6.2. Regenwassernutzung 75
6.2.1. Zulaufmenge und Speichergröße 76
6.2.2. Betriebswasserverbrauch 77
6.2.3. Ergebnisse der Bilanzierung 78

6.3. Versickerung.....82
6.3.1. Bemessungsregen 82
6.3.2. Auffangfläche..... 82
6.3.3. Dimensionierung der Anlage 84

7. Simulationspaket „RainCity-Combi“ für die Dimensionierung der kombinierten Maßnahmen bei der Umsetzung in Korea 88

7.1. Simulationsgrundlage 88
7.1.1. Zielsetzung der Simulation 88
7.1.2. Kombination der Anlagekomponenten 89
7.1.3. Simulationsalgorithmen 91

7.2. Beschreibung der Komponenten 93
7.2.1. Absetzschacht 93
7.2.2. Speicher..... 94
7.2.3. Tagesbehälter` 97
7.2.4. Drosselablauf..... 97
7.2.5. Versickerungsblock 98
7.2.6. Notpumpenanlage bei Hochwasseralarm 100

7.3. Abgrenzungssubroutine und Festlegung der Dimensionen 100
7.3.1. Abgrenzungssubroutine der Simulation 100
7.3.2. Festlegung der Dimensionen 102

7.4. Dimension-Auswirkung-Modul 103
7.4.1. Durchführung der Lastfallsimulation..... 103
7.4.2. Durchführung der kontinuierliche Simulation 106

7.5. Auswirkung-Dimension-Modul 114

7.5.1. Durchführungskonzept 114
7.5.2. Szenarien-Eingabe und Erstellung der Dimensionsdatenbank 114
7.5.3. Auswahl nach der Kosten-Nutzen-Analyse 119

8. Zusammenfassung und Ausblick 124

9. Literatur 127

Anhang 134

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Vorgehensweise der Arbeit 4
Abb. 2-1: Geografische Lage Korea mit Dar-stellung der Nachbarstaaten. http://encarta.-msn.com/encnet/features/mapcenter/map.aspx 5
Abb. 2-2: Vergleich der Temperaturen und Niederschläge zwischen Seoul und Berlin 6
Abb. 2-3: Taifun „Russa“ am 28.08.2002. Infrarot-Satellitenbild (Quelle: KMA) 7
Abb. 2-4: Räumliche Niederschlagsverteilung in Süd Korea (KMA http://www.-kma.go.kr/kor/weather/climate/climate_04_01.jsp 7
Abb. 2-5 Nutzung der Wasserressourcen in Korea (Ministry of Construction and Transportation, 2006). 8
Abb. 2-6 Nutzbare Wassermenge pro Person und Jahr (UNESCO, 2003) 9
Abb. 2-7 Wasserwerke zur Aufbereitung des Roh-wassers und ihre zuständigen Gebiete.(Seoul Development Institute, 2000) 10
Abb. 2-8: Schematische Darstellung des Prozesses zur Trinkwasseraufbereitung in Seoul. (Seoul Metropolitan Government, 2001) 10
Abb. 2-9 Mischkanalüberläufe, Abwasserkläranlagen und ihre Einzugsbereiche in Seoul. (Seoul Development Institute, 2000) 11
Abb. 2-10 Versiegelungsgrade (l.) der Flächen in Seoul im Jahr 1999 und Urbanisierungsprozess(r.: Im Jahr 1957,1972,1985 und 1997).(Seoul Metropolitan Government. 2000) 13
Abb. 2-11 Hochhäuser im Bau in Seoul (Foto. Kwon, 2003) 14
Abb. 2-12 Exemplarisches Beispiel für ein Umbaugebiet in Seoul, vor dem Abriss der bestehenden Bebauung (links oben und unten) und mit Nachfolgebebauung (rechts oben und unten). (K.J. Kim, 2001) 14
Abb. 2-13 Zunehmende Lufttemperatur und Niederschlagsmenge mit Mittelwert von 10 Jahren in Korea (KMA, 2004) 15
Abb. 2-14 Zunahme der Temperatur und Niederschläge in Korea - nach dem Modell ECHAM4/HOPE-G Max Plank Institut (KMA, 2004) 15
Abb. 2-15 Hochwasser in Seoul und Hochwasserschaden (MOCT, 2006) 16
Abb. 3-1 Schematische Darstellung einer Entwässerung im Mischsystem(ATV A105, 1997; Modifiziert von Kwon) 23
Abb. 3-2 Schematische Darstellung einer Entwässerung im modifizierten Mischsystem mit dezentralem Konzept(ATV A105, 1997 ; Modifiziert von Kwon) 23
Abb. 3-3 Schematische Darstellung einer Entwässerung im Trennsystem(ATV A105, 1997; Modifiziert von Kwon) 24
Abb. 3-4 Schematische Darstellung einer Entwässerung im modifizierten Trennsystem mit dezentralem Konzept(ATV A105, 1997 ; Modifiziert von Kwon) 24
Abb. 3-5 Regenwasserversickerung durch Mulden in Siedlungsgebiet 25
Abb. 3-6 Regenwasserbewirtschaftungskonzept am Potsdamer Platz Berlin(Quelle: Dreiseitl) 26
Abb. 3-7 Regenwassernutzungskonzept im Berlin-Lankwitz. (Reichmann, B. und E. Nolde,

2001) 27
Abb. 3-8 Regenwasserkonzepte durch Fassadenbegruenung und Teich in Adlershof Berlin (Foto und Skizze: Kwon) 29
Abb. 4-1 Kombination von Regenwassernutzung und -versickerung (Quelle: DIN 1989-1) 31
Abb. 4-2 Systematische Kombination der unterschiedlichen Bauarten dezentraler Regenwasserbewirtschaftung (Herrmann und Schmida,1996(2)) 32
Abb. 5-1 Ausschnitt aus der Niederschlagsdatenreihe vom KMA 41
Abb. 5-2 Fenster „Niederschlagsverteilung“ zum Überblick über die zeitliche Verteilung der Niederschläge 42
Abb. 5-3 Ausschnitt der originalen meteorologischen Datenreihe vom KMA 43
Abb. 5-4 Fenster für die Berechnung der Evaporation von Wasseroberflächen 45
Abb. 5-5 ETp und ETo in Seoul(oben) im Jahr 2004 und Berlin im Jahr 1998 47
Abb. 5-6 Verläufe der Rechenergebnisse aus der Sonnenscheindauer(ETo-S-Dauer) und aus dem gemessenen Nettostrahlung(ETo-Rn) 49
Abb. 5-7 Wasserstress-Koeffizient Ks und reduzierte Verdunstungsmenge nach dem FAO Modell (Allen et al, 1998) 50
Abb. 5-8 Schema des Bodenwasserhaushaltes nach FAO(Allen et al, 1998) 51
Abb. 5-9 Funktionsskitzze von Unterdrucklysimeter und Grundwasserlysimeter(Zenker, 2003) 56
Abb. 5-10 Vergleich der gemessene und berechnete Daten Berlin im Jahr 1998 (Durchschnittlicher Wert von Lysimeter Nr. 1 und 2, Grundwasser fern, Bewuchs : Gras). 58
Abb. 5-11 Die Verteilung der LCC(Life-Cycle-Costing) einer Abwasserpumpstation (Ulmschneider, 2004) 64
Abb. 6 1 Verteilung der jährlichen Niederschlagshöhen der Welt. 2006 Microsoft http://encarta.msn.com/ 66
Abb. 6-2 Konzentration von Oberflächenabfluß in Iran(links) und Retention von Niederschlagswasser in Furchen in Zimbabwe. Fotos: Diestel 66
Abb. 6-3 Klimatische Wasserbilanz von Seoul (Korea) aus den meteorologischen Daten im Jahr 2004 68
Abb. 6-4 Tropfenbewässerungsanlage in Rasengitterstein im Parkplatz. Quelle: Handsel-Green Co. 69
Abb. 6-5 KWB von Berlin, aus dem Jahr 1998, mit einem Anteil der Bewässerungsfläche von 50% der angeschlossenen Auffangfläche 69
Abb. 6-6 Kleiner Wasserkreislauf bei der Konzeptentwicklung (links oben : Chung), vor (links unten) und nach(rechts) der Renaturierung (ELA, 2005) 70
Abb. 6-7 Wasserbilanz von urbanen stehenden Gewässern bezogen auf Zulaufmenge und Verdunstungsmenge bei einem mittleren Abflussbeiwert von 0,7 und einer Wasseroberfläche von 400 m^2 in Seoul(oben) und Berlin im Jahr 1999 71
Abb. 6-8 Vogelperspektive und Querschnitt einer Hochhaussiedlungvor dem Bau 72
Abb. 6-9 Verlauf der Bodenwasserbilanz im Jahr 2004 Seoul(Lehmiger Sandboden. Grasbewuchs) 73

Abb. 6-10 Richtung der Energiebilanzgrößen eines Ausrichtung der Erdoberfläche Quelle: DVWK M 238 74
Abb. 6-11 Kombination von Strahlungsbilanz und Verdunstungskälte..... 75
Abb. 6-12 Reinigung der Strassen mit Wasser in Seoul Foto: http://eroom.korea-.com/inteltransys/446144 75
Abb. 6-13 Definition einer Wochen- und Tagesganglinie der Betriebswasserbedarf..... 78
Abb. 6-14 Tagesganglinie des Betriebswasserbedarfs für 50 Personen 79
Abb. 6-15 Bilanz für 100 Bewohner mit Speichervolumen von 60 m^3 und Auffangsfkäche von 1.000 m^2 im Jahr 2004 in Seoul..... 80
Abb. 6-16 Bilanz mit Speichervolumen von 90 m^3 und Auffangsfkäche von 1.000 m^2 in Seoul 80
Abb. 6-17 Bilanz für 100 Bewohner mit Speichervolumen von 60 m^3 und Auffangsfkäche von 1.000 m^2 im Jahr 2000 in Berlin 81
Abb. 6-18 Bilanz für 100 Bewohner mit Speichervolumen von 60 m^3 und Auffangfläche von 3.000 m^2 im Jahr 2000 in Berlin..... 81
Abb. 6-19 Vergleich der Regenspenden zwischen Seoul und Berlin (Einheit: Liter/s•ha)..... 82
Abb. 6-20 Ermittlung der maßgebenden undurchlässigen Fläche..... 84
Abb. 6-21 Vergleich der erforderlichen Speichervolumia unter koreanischen(links) und deutschen Regenspenden bei gleichen Bedingungen 85
Abb. 6-22 4 facher Flächenbedarf bei der Versickerung unter koreanischen Regenspende .. 86
Abb. 7-1 Speicher mit Abscheidewand für die Trocken- und Hochwasserperiode(Kim, 2003) .. 89
Abb. 7-2 Strukturdiagramm für Planung der dezentralen RWB in Korea nach Geiger und Dreiseitl (1995, 2001), verändert von Kwon 90
Abb. 7-3 Schematische Darstellung der Kombination von Anlagen der dez. RWB unter koreanischen Klimabedingungen mit großen Niederschlagshöhen und -intensitäten 91
Abb. 7-4 Flußdiagram für die Durchführung der Simulation……..92
Abb. 7-5 Eine Prinzipskizze von 3 Filtertypen nach DIN 1989-2 93
Abb. 7-6 Dimensionseingabe für Absetzbecken 94
Abb. 7-7 Retension und Versickerung im Versickerungsblock 98
Abb. 7-8 Schematische Darstellung der versickerungswirksamen Grundfläche des Versickerungsblocks 99
Abb. 7-9 Eingabefenster für die Abgrenzung der Szenarien 101
Abb. 7-10 Verteilung der Zulaufmenge (Tagesebene)..... 102
Abb. 7-11 Sensitivität dieser Komponenten und ihrer Auswirkungen auf der Basis von Tagesdatensätzen..... 102
Abb. 7-12 Bestimmung in der Abgrenzungssubroutine(links) und Festlegung im Eingabefenster (rechts)..... 103
Abb. 7-13 Eingabefenster der Regenspendedaten Koreas..... 104
Abb. 7-14 Eingabefenster zur Festlegung des Füllstandes von einzelnen Anlagen..... 105
Abb. 7-15 Ergebnisliste maximaler Zu- und Ablaufintensität ausgewählter Wiederkehrzeiten 106
Abb. 7-16 Ergebnisfenster für die Jahreswasserbilanz 107

Abb. 7-17 Ergebnisfenster für die Zu- und Ablaufintensität 108
Abb. 7-18 Darstellungsfenster für den Niederschlag, die Änderungen der Wasserständen sowie der Zu/Ablaufintensität 109
Abb. 7-19 Das simulierte Systemverhalten bei der Hochwasseralarmstufe I (80 mm) 112
Abb. 7-20 Das simulierte Systemverhalten bei Hochwasseralarmstufe II (120 mm).....112
Abb. 7-21 Einstellung der Notpumpeleistung bei 0 Liter/s.....113
Abb. 7-22 Optische Darstellung der aktuellen Wasserstände in der Anlage 113
Abb. 7-23 Durchführungskonzept des „Auswirkungs-Dimensions-Modul“ 114
Abb. 7-24 Szenarien-Eingabe Fenster für die Dimensionierung der Zisterne A(Nutzung).....115
Abb. 7-25 Die nach der versickerten Niederschlagsmenge angeordneten Daten im Optimierungsfenster.....117
Abb. 7-26 64 Kombinationsmoeglichkeit bei der Zielsetzung 117
Abb. 7-27 Verteilung der Auswirkungen von der Varianten(Kwon und Diestel, 2007) 118
Abb. 7-28 Die ausgewählten Varianten nach der Zielsetzung 119
Abb. 7-29 Baukosten-Eingabe-Fenster..... 120
Abb. 7-30 Betriebskosten-Eingabe-Fenster..... 121
Abb. 7-31 Sortierung der Ergebnisse nach Baukosten..... 123

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1 Abwassergebühren und Abdeckungsgrad (Einheit: Cent(Euro-Cent) pro Tonne, umgerechnet nach Wechselkurs 1 Euro = 1.600 Won; MOE, 2005) 12
Tab. 3-1 EU-Richtlinien im Bezug auf die RWB-Maßnahmen, zusammengefasst nach Gantner (2003) und Europäisches Umweltbüro(2003) 18
Tab. 3-2 Gesetze auf Bund und Landesebene, die die RWB berücksichtigen, zusammengefasst nach Marcard und Kissel (1999) und BUM(Stand 2009, http://www.bmu.de/-allgemein/aktuell/160.php) 19
Tab. 3-3 Niederschlagswasser-und Schmutzwassergebühr in deutschen Städten (Berliner Wasserbetriebe, Stand 1999/2000 und 2006 in Berlin, mit Euro umgerechnet) 20
Tab. 3-4 Projektdaten am Potsdamer Platz (Dreiseitl, 1999; Inbetriebnahme Okt. 1998) 26
Tab. 3-5 Technische Anlagendaten (Reichmann, B. und E. Nolde, 2001) 27
Tab. 3-6 Technische Daten der Anlagen (Schmidt, 2003) 28
Tab. 3-7 Technische Daten der Anlagen 29
Tab. 4-1 Ermittlung des jährlichen Betriebswasserbedarfs nach (DIN 1989-1) 35
Tab. 4-2 Versickerung der Niederschlagsabflüsse unter Berücksichtigung der abflussliefernden Flächen außerhalb von Wasserschutzgebieten (DWA A138, 2002) 37
Tab. 4-3 Software für die Planung dezentraler RWB 38
Tab. 5-1 Inhalte und Einheiten meteorologischer Daten (KMA) 43
Tab. 5-2 komplexe und physikalisch begründete Verfahren für Berechnung des ETp Wertes. Zusammenfassung nach DVWK (1996) 46
Tab. 5-3 Berechnungsansätze für Ausschöpfungstiefe $\overline{We}$ in dm mit $\overline{We} \geq 0$, Θ_{nFK} in Vol.-% (ATV-DVWK-M 504, 2002) 55
Tab. 5-4 Technische Daten der Lysimeter in Berlin-Dahlem 57
Tab. 5-5 Bodenparameter der Lysimetervarianten (Wegehenkel, M. et. al, 2008) 57
Tab. 6-1 Physikalische und klimatische Eigenschaften von Gewässern unter Berücksichtigung ihrer Lage im städtisch bebauten Raum (Schuhmacher und Thiesmeier, 1991) 70
Tab. 6-2 Die berechnete Bilanz durch die Subroutine „Bodenwasserbilanz“ 73
Tab. 6-3 Umrechnungsfaktoren für die Strahlungsenergie 74
Tab. 6-4 Empfohlene mittlere Abflussbeiwerte AB_m von verschiedenen Einzugsgebietsflächen (ATV-DVWK-M 153) 76
Tab. 6-5 Durchschnittlicher Trinkwasserverbrauch pro Einwohner und Tag in Haushalten Deutschland und Korea 77
Tab. 6.6 Bilanzierungsergebnisse für 100 Bewohner in Seoul und Berlin (m^3/Jahr) 81
Tab. 6-7 Vergleich des erforderlichen Speichervolumens Seoul und Berlin 85
Tab. 7-1 Sammel- und Reinigungsvorrichtungen nach 4 Typen (Herrmann und Schmida. 1996-1) 93
Tab. 7-2 Eingabedaten des Durchlässigkeitbeiwertes(k_f) nach dem Bodenart 100
Tab. 7-3 Die festgelegten Dimensionen 103

Tab. 7-4 simulierter Verlauf der der Ein- und Ausschaltung der Pumpen während eines Hochwasseralarms 110
Tab. 7-5 Alle 6.750 möglichen Varianten im Programm 116

γ	Psychrometerkonstante (0,65 hPa/K)	[hPa/K]
Δ	Steigung der Sättigungsdampfdurckkurve	[kPa °C^{-1}]
Δh	Änderung des Wasserstandes in Abhängigkeit von der Zu- und Abflussmenge	[m]
A_A	Auffangfläche	[m^2]
$A_{E,\,k}$	kanalisierter Einzugsgebiet	[m^2]
A_s	Versickerungsfläche	[m^2]
A_u	undurchlässige Fläche	[m^2]
AB_m, AB_s	Mittlerer Abflussbeiwert, Spitzenabflussbeiwert	[-]
BW_a	Jährlicher Betriebswasserjahresbedarf	[Liter /a]
c_p	spezifische Wärme der Luft	[J/(kg K)]
CR_i	Kapillaraufstieg vom Grundwasserspiegel am Tag i	[-]
D	Dauer des Bemessungsregens	[min]
DP_i	Perkolationsmenge vom Wurzelraum am Tag i	[mm]
D_w	Defizit des Bodenwassers im Wurzelraum	[mm]
e, e_a	Dampfdruck	[kPa]
e_b	Ertragsbeiwert	[-]
E_{Bd}	Verdunstung von der unbewachsenen Erdoberfläche	[mm]
E_I	Interzeptionsverdunstung	[mm]
E_{Pfl}	Verdunstung von Wasser über die Spaltöffnungen auf Pflanzenoberflächen	[mm]
E_R	Regenwasserertrag	[Liter/a]
e_s	Sättigungsdampfdruck	[kPa]
e_s - e_a	Sättigungsdefizit der Luft	[kPa]
es(T)	Sättigungsdampfdruck, abhängig von der Temperatur	[hPa]
e_s(T) – e	Sättigungsdefizit, abhängig von der Temperatur T und Dampfdruck e	[hPa]
$ET_{c,i}$	Crop Evapotranspiration am Tag i	[mm]
ETo	Gras-Referenzverdunstung	[mm]
E_w	Verdunstung von freien Wasserflächen	[mm]
f(v)	Windfunktion des Dalton-Terms, z.B. f(v) = 0,136 + 0,105 × v_2 für kleine Wasserflächen (v_2 = Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe)	[-]
F(v)	von Windgeschwindigkeit v und der Bewuchshöhe abhängige Funktion	[-]
f_K	Küstenfaktor, im Küstenbereich von 50 km Breite als Mittelwert f_K = 0,6 und sonst f_K = 1,0	[-]
f_z	Zuschlagsfaktor gem. ATV-DVWK-A 117	[-]
G	Bodenwärmestrom	[MJm^{-2} day^{-1}]
h	Wassertiefe und Wasserstand über Sohle der Drosselöffnung	[m]
h	Einstauhöhe in der Versickerungsanlage	[m]
h_N	Niederschlagshöhe	[Liter/m^2 , mm]
$H_{nz,\,i}$	Höhe des aktuellen Wasserspiegels im Nutzspeicher	[m]
$H_{nz.max}$	maximale Höhe vom beliebig eingegebenen Nutzspeicher	[m]
i	Laufvariable des Berechnungszeitpunktes	[-]
I	hydraulisches Gefälle	[m/m]
I_G	mittleren Geländeneigung	[Grad], [%]
I_i	Bewässerungstiefe, die in den Boden infiltriert	[mm]
I_s	Abstand zwischen Anlagensohle und Grundwasseroberfläche	[m]
I_z	Interzeptionshöhe	[mm]
$I_{z\text{-}max}$	Maximale Interzeptionshöhe	[mm]
k.A.	kapillaren Aufstiegsrate	[mm/Tag]
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert der gesättigten Zone	[m/s]
K_s	Dimensionsloser Faktor der Reduzierung von Transpiration in Abhängigkeit von nutzbarer Feldkapazität [0 - 1], Wenn der Defizit im Wurzelraum kleiner als RAW ist, dann ist Ks = 1.	[-]
KWB	Klimatische Wasserbilanz	[mm]

L	Verdampfungswärme des Wassers, Strahlungsäquivalent für die Verdunstung von 1mm/d	[$W/m^2/mm$]
n	Regenhäufigkeit	Jahr
Ø	Drosseldurchmesser	[m]
p	Anteil der nutzbaren Feldkapazität, die Planzen ohne Wassermangelstress das Bodenwasser entziehen können	[-]
P_{grenz}	Tagesniederschlagsmenge	[mm]
P_i	Niederschlag am Tag i	[mm]
P_{korr}	Korrigierte Niederschlagsmenge	[mm]
Q_{ab}	der vom Filtersystem in den Ablauf (z.B. Kanal, Versickerungsanlage) abgeführte Volumenstrom	[Liter/s]
$Q_{ab, i}$	Speicherabfluss	[m^3/h]
$Q_{bw, i}$	Speicherabfluss in den Tagesbehälter für die Betriebswassernutzung	[m^3/h]
$Q_{bw, i}$	Speicherabfluss in die Betriebswasserentnahmestelle	[m^3/h]
Q_d	Drosselabfluss	[Liter/s]
$Q_{dr, i}$	Speicherabfluss in die Kanalisation durch Drosselöffnung	[m^3/h]
Q_s	Versickerungsrate	[m^3/s]
$Q_{über,i}$	Überlaufmenge	[m^3/h]
$Q_{zu, i}$	Zuflussmenge	[m^3/h]
R_0/L	Verdunstungsäquivalent der extraterrestrischen Strahlung	[mm/d]
$r_{D(n)}$	maßgebende Regenspende	[l/(s·ha)]
R_G	Globalstahlung	[W/m^2]
$rk_{D(n)}$	koreanische Regenspende	[mm/hr]
Rn	Nettostrahlungsenergie (Strahlungsbilanz)	[W/m^2]
Rn/L	Verdunstungsäquivalent der Nettostrahlung	[mm/d]
Rn-G	effektive Strahlungsbilanz	[W/m^2]
Rn_L	effektive Abstrahlung von der Oberfläche	[W/m^2]
RO_i	Oberflächenabfluss am Tag i	[mm]
s	Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve mit der Temperatur	[hPa/K]
SR	Verhältnis der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer zu der bei Tag- und Nachtgleiche (=$S_0/12$)	[-]
SW	versickerte Wassermenge	[mm]
T	Lufttemperatur, gemessen in einer Höhe von 2 m über Land	[℃]
TAW	nutzbare Feldkapazität in Wurzelraum	[mm]
t_e	Rechnerische Entleerungszeit	[stunde]
T_{max}	maximale Temperatur des Tages	[℃]
T_{min}	minimale Temperatur des Tages	[℃]
u_2	Windgeschwindigkeit, Tagesmittel 2 m Höhe	[$m\ s^{-1}$]
V_2	Windgeschwindigkeit Tagesmittel 2 m Höhe	[m/s]
V_f	Filtergeschwindigkeit der gesättigten Zone	[m/s]
$v_{f,u}$	Filtergeschwindigkeit der ungesättigten Zone	[m/s]
V_i	Füllstand des Speichers	[m^3]
V_n	Nutzvolumen	[Liter]
V_s	Speichervolumen	[m^3]
W_E	Wasservorrat im Boden	[mm]
$W_{nFK, We}$	nutzbare Feldkapazität	[m]
W_{pfl}	pflanzenverfügbares Bodenwasser	[m]
Z_r	Tiefe der Wurzelung	[m]
z_{We}	effektive Durchwurzelungstiefe	[m]
α	Reflexionskoeffizient oder Albedo der Wasseroberfläche	[-]
ε	Emissionskoeffizient bei klarem Wasser = 0,97	[-]
η	der hydraulische Filterwirkungsgrad	[-]
$Θ_{FC}$	Bodenwassergehalt in Feldkapazität	[m^3/m^3]
$Θ_{WP}$	Bodenwassergehalt in Welkepunkt	[m^3/m^3]
μ	Ausflussbeiwert (Hier 0,607 für scharfkantige Kreisöffnungen)	[-]
ρ	Luftdichte	[kg/cm^3]
σ	Stefan-Bolzmann-Konstante = $5,67 \times 10^{-8}$ Wm^{-2} K^{-4}	[Wm^{-2} K^{-4}]

Abstract

Ein Entscheidungshilfesystem wurde auf der Basis eines Computerprogrammes für die Planung dezentraler Regenwasserbewirtschaftung(RWB) mit Hilfe der Programmiersprache Visual Basic entwickelt. Dieses Programm *„RainCity“* besteht aus zwei Simulationspakete *„RainCity-Balance“* und *„RainCity-Combi“*.

Das Simulationspaket *“RainCity-Balance”* berücksichtigt die planerischen Handlungskomponenten Verdunstung, Nutzung und Versickerung auf der Grundlage von Tageswerten und Bemessungsregen für regional unterschiedliche Klimabedingungen weltweit.

Zur Berechnung einer Wasserbilanz unter Berücksichtigung der Verdunstung wurden, insgesamt 4 Subroutinen nämlich Klimatische Wasserbilanz, Wasserbilanz von Stadtgewässern, Bodenwasserbilanz, Strahlungsenergiebilanz entwickelt.

Für Abschätzungen des Speichers in der Regenwassernutzungsanlage werden verschiedene Subroutinen für Zulaufmengen, Betriebswasserverbräuche und -verteilungen sowie für die Darstellung der ermittelten Ergebnisse bereitgestellt.

Aus den allgemeinen Bilanzierungsansätzen des Simulationspaketes *“RainCity-Balance”* wurde, als regional-spezifische Kombination der Maßnahmen, das Simulationspaket *„RainCity-Combi“* für die Bedingungen in Korea entwickelt. Das Simulationspaket berücksichtigt eine Anlagenkombination aus Absetzschacht, Speicher, Tagesbehälter, Drosselablauf, Versickerungsblock und Notpumpe. Die Simulationsdurchführung basiert, im Gegensatz zum *“RainCity-Balance”,* auf stündlichen Niederschlagsdaten. Das Paket umfasst zwei Simulationsmodule.

„Dimension-Auswirkung-Modul“ ermöglicht eine Lastfallsimulation mit Bemessungsregen sowie eine kontinuierliche Simulation auf der Grundlage stündlicher Niederschlagsdaten und zeigt die hydrologischen und hydraulischen Auswirkungen.

Um sich einer geeigneten Dimensionierung der Anlagekomponenten systematisch zu nähern, wurde das „Auswirkung-Dimension-Modul“ entwickelt. Mit Hilfe einer „Kosten-Nutzen-Analyse“ ist dann eine weitere Einschränkung für die günstigste Anlagekombination möglich.

Summary

A decision support system “RainCity” was developed with the program language “Visual Basic” consisting of two simulation packages. The first package *„RainCity-Balance“* assists in identifying the appropriate water management strategy for a given region under the given natural and infrastructural conditions. The following items are dealt with in this package: climatic, soil water, energy and radiation balances, and quantitative balances of rain water use, of the urban waters and of the infiltration structures as well as the calculation of the peak discharge and of the corresponding dimensions of sewage conduits. The second package *„RainCity-Combi“* assists in determining the specific combination of technical measures and in dimensioning the relevant engineering structures for settlements in the different regions of Korea. A combination of the following measures was chosen here: the use as well as the infiltration of water from rains, the retention with a supplemental cistern for water use and buffer capacity, properly timed evacuation of the cisterns with pumps in connection with weather forecasts and provision of energy saving discharge procedures. Two modules for finding the best dimensions and characteristics of the engineering structures are available in the decision support system: with the dimension/effect-module one can simulate the hydrologic effects of engineering structures with predetermined dimensions and characteristics. With the effect/dimension-module one can define the desired objectives and determine those combinations of engineering structures with various properties with which the defined aims can be achieved, evaluated by a cost/benefit analysis.

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Heutzutage leiden mehr als 2 Milliarden Menschen unter Wassermangel und 1,1 Milliarden unter nicht ausreichender Trinkwasserversorgung. Es ist erwartet, im Jahr 2050 mindestens ein Viertel von Weltbevoelkerung wohnen in den Staaten, wo unter zeitlich wiederholte Mangel an Wasser leiden. Diese Probleme sind besonders bei den Bildungsprozessen der Ballungsräume deutlich zu sehen. Nach Schätzungen der UN werden im Jahr 2025 mehr als 58% der Weltbevölkerung in Städten leben (UNESCO, 2003).

Durch die zunehmende Versiegelung bei der Urbanisierung wächst auch die Notwendigkeit, um umliegende Gewässer vor hydraulischen Belastungen und einem erhöhten Schadstoffeintrag zu schützen und die Abwasserkläranlagen und Speicherbauwerke an den Schnittstellen zwischen Ableitungssystem und Gewässer zu erschließen. Dieses „end-of-the-pipe-prinzip“ der Stadtentwässerung ist jedoch nicht unproblematisch. So kommt es beispielsweise regelmäßig zu niederschlagsbedingten stoßweisen Gewässerbelastungen aus Siedlungsgebieten (Sieker, 1998).

Durch dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen(dez. RWB-Maßnahmen), Retention und Versickerung von Niederschlagsabflüssen, in Siedlungen kann die Veränderung der Abflussverhältnisse zu erheblichen Entlastungen der Kanalisationen, der Kläranlagen sowie der Gewässer bei Intensiven Niederschlägen führen. Bei einer zunehmenden weltweiten Verknappung von Wasser guter Qualität ist die Verwendung von Trinkwasser zum Abtransport von Fäkalien durchaus in Frage zu stellen. Hier kann, unter bestimmten Bedingungen, eine Nutzung von Niederschlagswasser zur Toilettenspülung, zur Bewässerung städtischer Grünflächen oder zur Fassadenbegrünungen eine Alternative bieten (Diestel, 2004).

Bei der regionalen Betrachtung der Bewölkerungsentwicklung ist im Vergleich mit Bildungsprozessen der Ballungsräume zu berücksichtigen, dass in bereits dünn besiedelten Räumen eine weitere Bevölkerungsabnahme zu erheblichen Problemen bei der Gewährleistung der bisherigen Wasserinfrastruktur. Die Aufrechthaltung einer funktionierenden Wasserinfrastruktur unter diesen Randbedingungen bei tragfähigen Kosten wird die vorhandenen Anlagekonzepte in Frage stellen (Hildebrand und Hiessl, 2006).

Der Wasserverbrauch in Berlin und im Nordosten Deutschlands ist drastisch zurückgegangen. Dadurch entstehende Abwasserreduzierung kann die Geruch-entstehung und Korrosion verursachen. Ohne die heutigen teuren Durchspülungen der Kanäle würde das zu beträchtlichen Schäden durch Korrosion führen (Barjenbruch, 2007). Die Reduzierung der Abflussmenge in der Stadt kann sich also manchmal bei unterschiedlichen Wasserinfrastrukturen und regionalen Bedingungen auch negativ auswirken. Bei der Planung der dezentralen RWB soll auch die Möglichkeit der Beeinträchtigung der bestehenden zentralen Kanalisationen in Betrag gezogen werden.

Bei der Planung und Umsetzung dieser Maßnahmen gestalten sich die richtige Dimensionierungen der Anlage und die Findung einer idealen Anlagenkombination mit optimalen hydrologischen und ökonomischen Auswirkungen, leider oftmals sehr schwierig und aufwendig.
Unter dem Begriff Entscheidungshilfesystem ist hier ein computerstütztes System zu verstehen. Dieses hat die Aufgabe Entscheidungsträger bei der Lösung zum Teil bereit vom Entwickler strukturierter Probleme zu unterstützen, indem es ihnen den Zugang und die Nutzung von Daten und analytischen Modellen erlaubt (Schneider, 2003). Bei der Entwickelung dieses Programms wurden die wasserwirtschaftliche Besonderheiten des Zielorts Korea berücksichtigt. Dies war notwendig, da koreanische Bedingungen andere Strategien zur Regenwasserbewirtschaftung erfordern.

1.2. Zielsetzung

Die Ausgangsbasis dieser Arbeit bilden bereits bestehende Systeme zur Stadtentwässerung. Um eine Reduzierung der Gewässerbelastung sowie eine Entlastung der Kanalisationen zu erreichen und sich der natürlichen Wasserbilanz anzunähern, wurden in bestimmten Teilen Deutschlands bereits verschiedene dezentrale RWB-Maßnahmen geplant und umgesetzt. Im Vergleich mit dem herkömmlichen Stadtentwässerungsprinzip, bieten diese Maßnahmen eine relativ große Auswahl- und Kombinationsmöglichkeit. Diese Vielfältigkeit macht es auf der anderen Seite aber auch schwierig, Landschafts- und Stadtentwässerungsplanern eine allgemein gültige Lösung vorzugeben. Bei der Planung und Umsetzung dieser Maßnahmen in anderen Ländern sind darüber hinaus auch die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen und die vorhanden städtischen Infrastrukturen zu berücksichtigen
Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Entscheidungshilfesystems auf der Basis eines Computerprogramms für die Planung dez. RWB-Maßnahmen in Siedlungsgebieten Koreas. Dieses ermöglicht die virtuelle Planung und Simulation verschiedener RWB-Konzepte. Dabei kann auch die Kombination verschiedener Einzelmaßnahmen in Gebäuden und Hochhauskomplexen berücksichtigt werden. Weiterhin ist es möglich, die hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Auswirkungen dieser Maßnahmen abzuschätzen. Auf Grundlage einer Analyse der koreanischen Rahmenbedingungen und Erfahrung bei der Umsetzung dezentraler Maßnahmen in Deutschland, können die notwendigen Maßnahmen an koreanische Bedingungen angepasst werden. Diese werden dann als Objekte und Komponenten bei der Softwareprogrammierung verwendet. Aus dieser Herangehensweise, die beispielsweise für Korea verwendet ist, kann die Strategie auch für jeweilig andere Regionen entwickelt werden.

1.3. Vorgehensweise und Abgrenzung der Arbeit

Die Erfahrungen bei der Planung und Umsetzung entsprechender Anlagen in

Deutschland werden für die Anwendung in Korea zusammengefasst und verwendet. Durch einen Vergleich zwischen den klimatischen und infrastrukturellen Bedingungen von beiden Ländern können die besonderen Anforderungen an dez. RWB-Maßnahmen in Korea erkannt werden. Durch eine Überprüfung der in Deutschland vorhandenen Entscheidungshilfesysteme können mögliche Anwendungspotentiale und Beschränkungen dieser Softwarelösungen für die Problematik Koreas gefunden werden. Zur Programmierung dieses Systems wurden Berechnungsgrundlagen von Wasserhaushaltskomponenten als Bausteine verwendet. Die Algorithmen der einzelnen Berechnungsgrundlagen im Programm basieren auf Modellen und Berechnungsansätzen, die in der Literatur vorhandenen sind. Zum Teil ist auch eine Validierung von einigen Berechnungsansätzen durch die Auswertung der gemessenen Daten möglich. Um das Programm transparent zu gestalten und so eine Überprüfung der Berechnungvorgänge zu ermöglichen, können die Berechnungsvorgänge der im Programm integrierten Nachweisfunktionen, vom Anwender überprüft werden.

Bei dem Simulationspaket *"RainCity-Balance"* handelt es sich um ein Werkzeug zur Strategie- und Konzeptentwicklung der dez. Regenwasserbewirtschaftung, für unterschiedliche Klimaregionen der Welt. Mit diesem Paket kann die wasserwirtschaftliche Problematik Koreas aus der Sicht von dezentralen Maßnahmen quantitativ dargestellt werden. Aus dieser Darstellung wird der regionspezifische Kozept der Regenwasserbewirtschaftung im Simulationspaket *„RainCity-Combi"* abgeleitet, die koreanischen Bedingungen passt. Zu diesem Konzept gehört die Kombination und Dimensionierung der Anlagekomponenten mit gezielten wasserwirtschaftlichen und auch ökonomischen Effekten. Die Vorgehensweise bei der Erstellung dieses Programms ist in der Abb. 1-1 strukturell dargestellt.

Für die Programmierung wurde die Programmiersprache Visual Basic 6.0 von Microsoft verwendet. Mit dieser Sprache können unter GUI(Graphic User Interface) Bedingung benutzerfreundliche Programme entwickelt und in den gängigen Windows Betriebssystemen installiert werden.

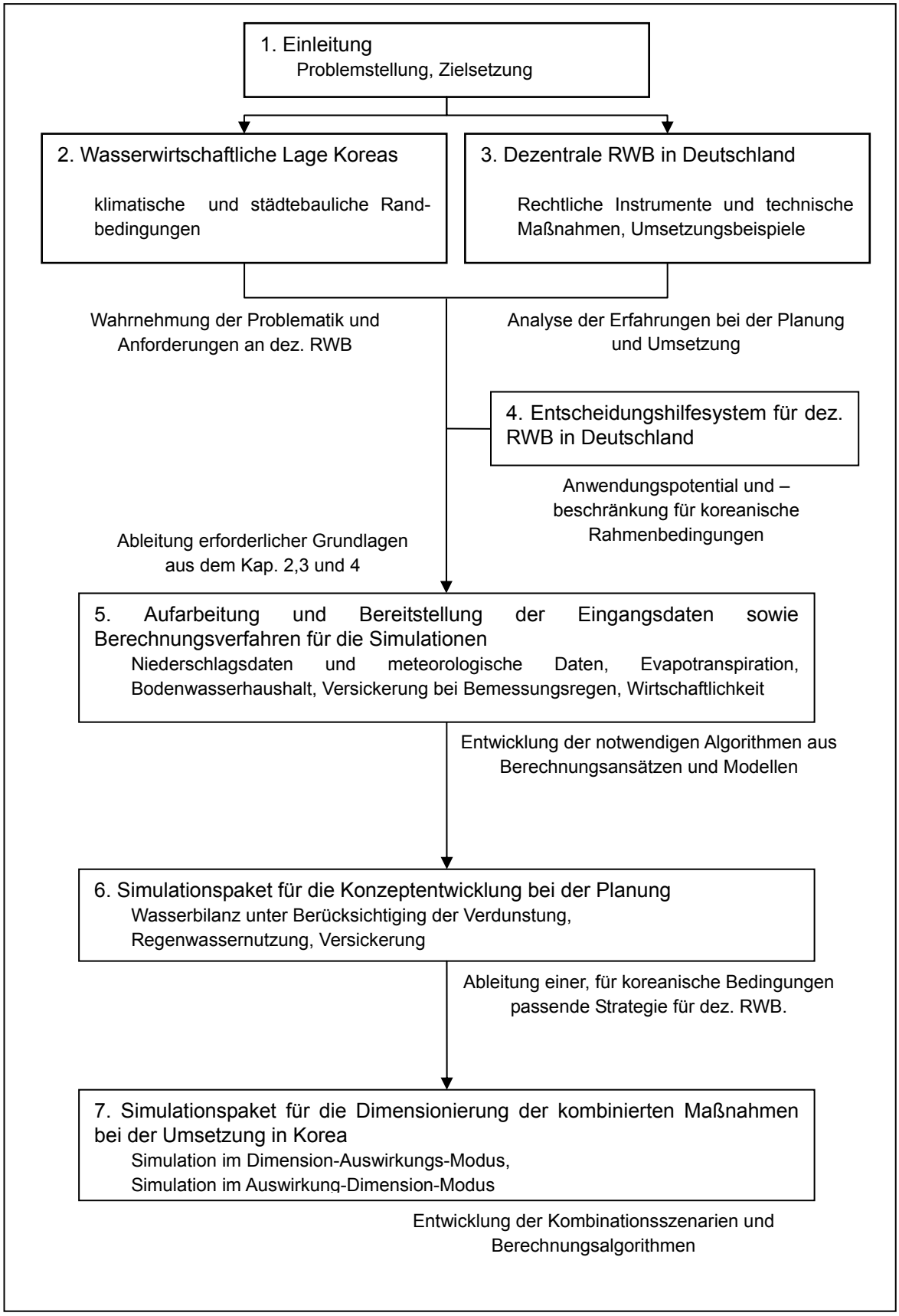


Abb. 1-1: Vorgehensweise der Arbeit

2. Wasserwirtschaftliche Lage Koreas

2.1. Geografische und klimatische Gegebenheiten

2.1.1. Geografische Gegebenheiten

Die koreanische Halbinsel liegt im nordöstlichen Teil des asiatischen Kontinents, wo sich die koreanischen Gewässer mit dem westlichen Teil des Pazifiks vereinen. Im Norden grenzt die Halbinsel an China und Russland, im Osten an das Ostmeer, auf dessen anderer Seite Japan im Südosten Koreas liegt (Abb. 2-1). Mit einer Gesamtfläche von 222.154 km^2 ist die koreanische Halbinsel, die von Norden nach Süden 1.100 km misst, ungefähr so groß wie Großbritannien oder Rumänien. Zwei Drittel des Landes sind gebirgig, vergleichbar mit Ländern wie Portugal, Ungarn oder Irland. Korea ist im nördlichen Drittel „Kontinentalkorea“, also etwa nördlich des 40 Breitengrades, gebirgiges Randgebiet des asiatischen Festlandes und erst südlich davon bis ca. 34° N eine rund 600 km lange Halbinsel von minimal 180 km und maximal etwas über 300 km Breite zwischen dem allenfalls 90 m flachen Gelben Meer im Westen und der tiefen Ostsee im Osten. Die Großform des Reliefs in der Nordhälfte der Halbinsel und im westlichen Kontinentalkorea ist einer „von Westen her allmählich ansteigenden Pultscholle“ vergleichbar. (Koreanische Übersee Informationsdienst, 2003; Weischef und Endlicher, 2000).

Abb. 2-1: Geografische Lage Korea mit Darstellung der Nachbarstaaten. http://encarta.msn.com/encnet/features/mapcenter/map.aspx

Die Hauptstadt Seoul befindet sich auf dem westlichen, zentralen Teil der Koreanischen Halbinsel, etwa auf 126° östlicher Länge und 37° nördlicher Breite. Die Stadt liegt in einer natürlichen Senke, umgeben von Hügeln und Bergen. Das 600 Jahre alte historische Stadtzentrum liegt ca. 100 m über dem Meeresspiegel nördlich des Han-Flusses, der die Stadt heute in einen nördlichen und einen südlichen Teil trennt und von Osten nach Westen durchfließt. Die meisten großen Städte Südkoreas befinden sich in der Süd- und Ostseite der Halbinsel auf dem flachen Feld neben den Flüssen. Die für die Stadtentwicklung zur Verfügung stehenden flachen Flächen sind durch diese geografische Lage beschränkt und manche Städte und Siedlungsgebiete in Korea befinden sich so auf der geneigten und unebenen Fläche. Neben Ursachen in der Stadtentwicklungspolitik ist auf diese Gegebenheit auch die kompakte

Stadtentwicklung mit 20- oder 30-stöckigen Hochhäusern zurückzuführen.

2.1.2. Klimatische Bedingungen

Korea hat vier Jahreszeiten. Heiß und feucht ist es im Sommer, und in den trockenen, kalten Wintern schneit es mancherorts sehr viel. Die Temperaturen schwanken je nach Region zwischen 6 und 16 °C. Im August, der heißesten Zeit des Jahres, liegt die Durchschnittstemperatur zwischen 19 und 27 °C, und im Januar, dem kältesten Monat, zwischen -7 °C und 8 °C. (Koreanischer Übersee Informationsdienst, 2003)

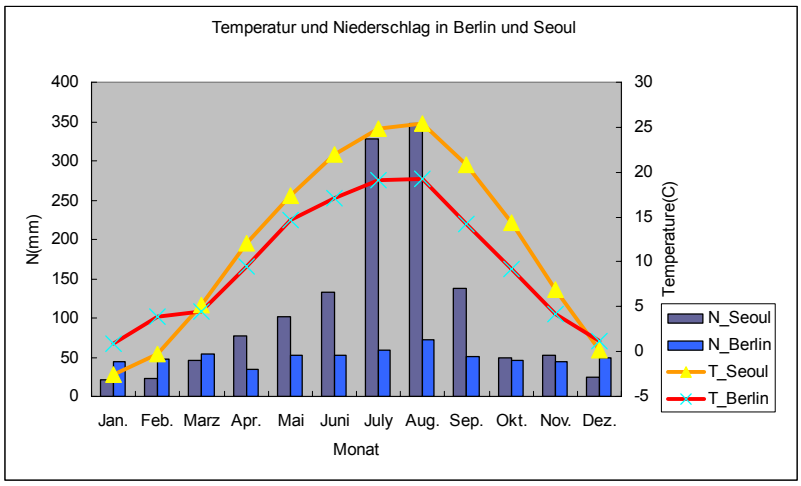


Abb. 2-2: Vergleich der Temperaturen und Niederschläge zwischen Seoul und Berlin

Das ganze Ausmaß des kontinentalen Einflusses wird bei einem Vergleich des Klimas von Berlin und Seoul deutlicher. In der Abb. 2-2 wurden die 30-jährigen Mittelwerte vom Korea Meteorological Administration und 12-jährige Mittelwerte aus der Klimastation von FG Wasserhaushalt und Kulturtechnik in Dahlem dargestellt. Beide Städte weisen eine bemerkenswert große thermische und auch hydrologische Kontinentalität auf (Abb. 2-2). Kennzeichnend für die thermische Kontinentalität sind die großen Jahres- und Tagesgänge der Temperatur. Die direkte Folge der tiefen Wintertemperaturen ist die lange Dauer thermischer Bedingungen unterhalb des Grenzwertes für den Beginn der Vegetationsperiode (Weischef und Endlicher, 2000).

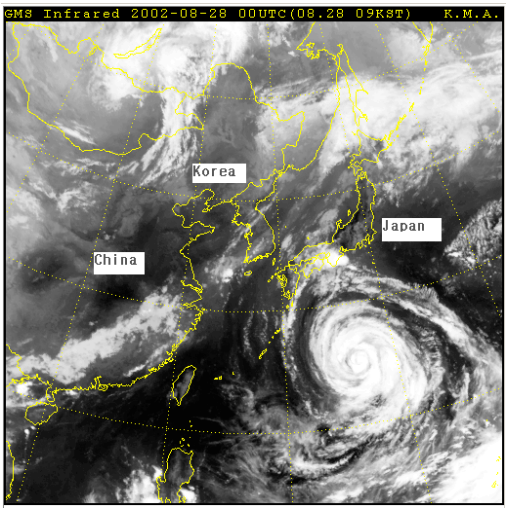


Abb. 2-3: Taifun „Russa“ am 28.08.2002. Infrarot-Satellitenbild (Quelle: KMA)

Der überwiegende Teil, mehr als 2/3 der Jahresniederschlagsmenge, fällt in der Regel während der vier Sommermonate, von Juni bis September. Die verhältnismäßig geringen Winterniederschläge fallen häufig als Schnee. Die häufig auftretenden merkwürdigen Regenfälle sind insbesondere auf tropische Wirbelstürme (Taifune) zurückzuführen, die in sehr kurzen Zeiträumen gewaltigen Niederschlagsmengen entladen können (Abb.2-3). Die durchschnittlichen jährlichen Niederschlagshöhen können dabei erheblich schwanken, z. B. zwischen 754 mm im Jahr 1939 und 2.055 mm im Jahr 2000 (Korea Water Resources Corporation, 2002). Die jährliche Niederschlagsmenge verteilt sich auch räumlich uneben. Im relativ warmen Süden der Halbinsel nehmen die Niederschlagsmengen von 1.400 mm auf maximal 1.900 bis 2.000 mm zu und gehen dann auf 1.000 bis 1.200 mm an der Ostküste zurück (Abb.2-4). Insbesondere im Hochgebirge an der mittleren Ostküste gibt es massiven Schnee im Winter, der auf die dortige hohe jährliche Niederschlagsmenge zurückzuführen ist.

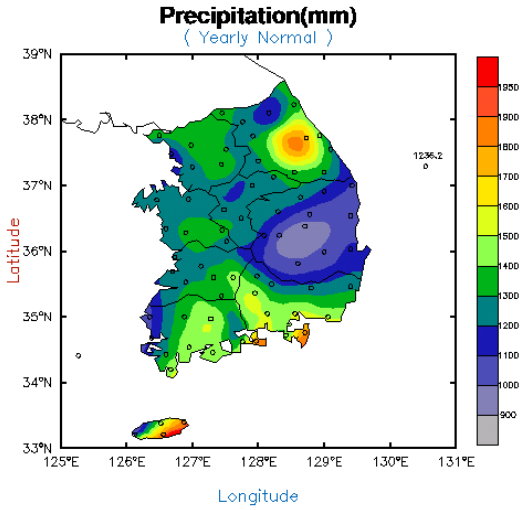


Abb. 2-4: Räumliche Niederschlagsverteilung in Süd Korea (KMA http://www.-kma.go.kr/kor/weather/climate/climate_04_01.jsp

Die Niederschlagsbedingungen im Allgemeinen weisen mit den niedrigen Winter- und Frühlingsmengen und der hohen Sommermenge jedoch einen eher für Kontinentalklimata typischen Jahresverlauf auf. Aber die hohen Sommerwerte sind im Wesentlichen auch einem ozeanischen Zusatzeffekt, den Einfluss tropisch-maritimer Luftmassen, zuzurechnen. Im übrigen Korea beginnt wegen der Konzentration der Niederschläge die Wachstumsperiode im Frühling unter hydrologisch ungünstigen Bedingungen. Auch die Niederschläge im Winter fallen bei den Frosttemperaturen vorwiegend als Schnee auf einen gefrorenen Untergrund. Die Schneedecke wird durch den Sonnenschein größtenteils verdampft, so dass die Versickerungsraten des Wassers klein bleiben. Dementsprechend schlecht ist die Bodenwasserversorgung am Ende des Winters.

Die meisten Niederschläge fallen in einer Zeit, wenn der Höhepunkt des Vegetationswachstums schon überschritten ist. Dies wirkt sich ebenfalls nicht günstig auf die Bodenwasserversorgung aus. Insbesondere die Landwirtschaft leidet oft unter Wassermangel (Weischef und Endlicher, 2000).

2.2. Wasserbilanz

Südkorea gehört mit einer mittleren Niederschlagshöhe von 1.310 mm nach der Angabe von KMA(Korea Meteorological Administration) im Vergleich mit dem Weltdurchschnitt von 880 mm zwar zu den niederschlagsreichen Ländern der Erde. Dies entspricht 2.718 m³ pro Person und Jahr bei einer Fläche von 99.600 km^2 und 48 Mio. Einwohnern (Stand im Jahr 2004). Abb. 2-5 beschreibt die Lage der Wasserressourcen und Nutzungsanteile in Korea. Die Summe der Verluste, primär durch Verdunstung und die Abflussmenge ins Meer, erreicht bis 73 % der gesamten Wasserressourcen. Besonders hohe Abflussmengen bei Hochwasser verursachen eine ungünstige Wasserwirtschaft in Korea. Die Abflussmenge beim Hochwasser und auch beim Normalfluss besteht aus dem Oberflächenabfluss, bodeninnerem lateralem Abfluss und Grundwasserabfluss.

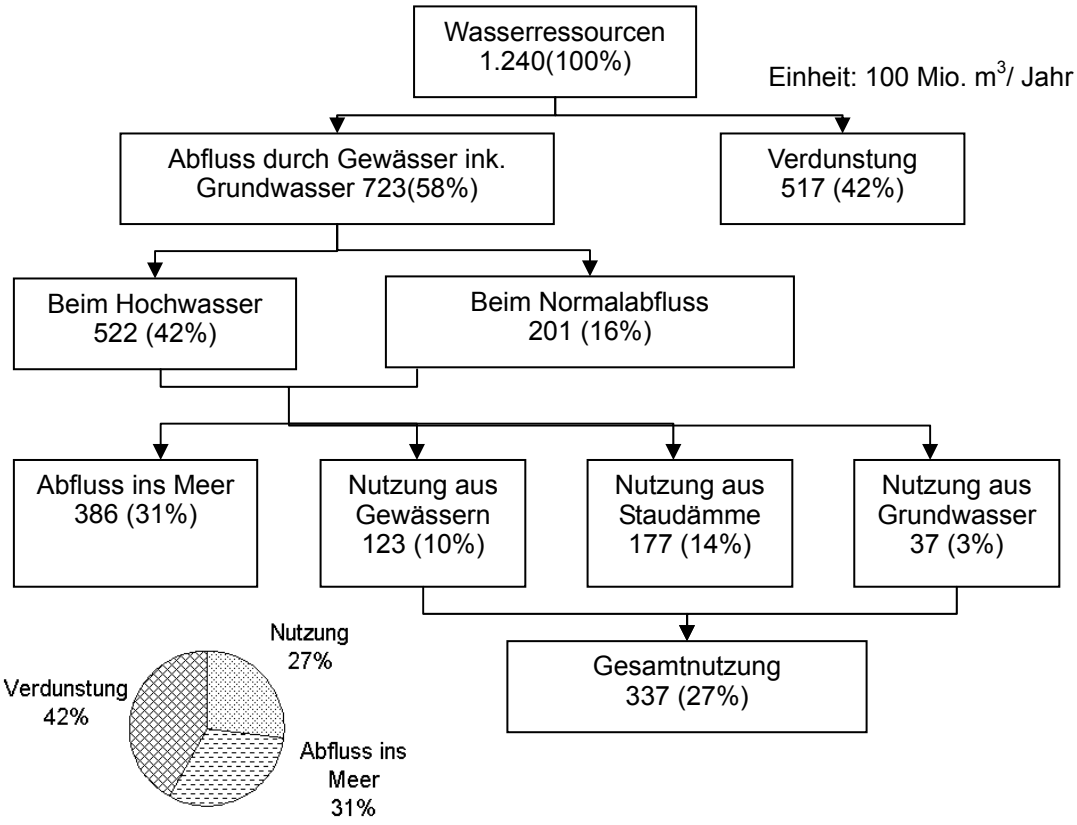


Abb. 2-5 Nutzung der Wasserressourcen in Korea (Ministry of Construction and Transportation, 2006).

Gleichwohl sah sich das Population Action Institute (PAI) der Vereinten Nationen dazu veranlasst, Südkorea als Land mit Wasserknappheit zu kategorisieren. Wasserknappheit liegt vor bei einem verfügbaren, erneuerbaren Süßwasserangebot

pro Kopf und Jahr von unter 1.700 m³. Und Wassermangel bezeichnet ein Süßwasserangebot pro Kopf und Jahr, das unter 1.000 m³ liegt (PAI, 1997). Diese Grenzwerte basieren auf den Studien von Falkenmark, M und C. Widstrand (1992), die diese Werte aus dem Wasserbedarf für Herstellung der Lebensmittel errechnet haben.
Die nutzbare Wassermenge Koreas, die die Verdunstungsmenge nach PAI (1997) ausschließt und die Versorgung aus dem Grundwasservorrat nicht berücksichtigt, beträgt pro Einwohner und Jahr aber nur etwas mehr als die Hälfte, ca. 1.506,3 m³. Wenn man die Abflussmenge ins Meer beim Hochwasser in dieser Kategorie abzieht, beträgt die nutzbare Wassermenge 1.020,8 m³ pro Einwohner und Jahr.(Abb. 2-6).
Dies lässt sich aus den anderen Essgewohnheiten der Koreaner herleiten, die überwiegend Meeresfrüchte und Gemüse und weniger Fleisch verzehren, was Han (2003) zur vorsichtigen Anwendung der Grundlagen zur Berechnung des Wasserverbrauchs auf koreanische Verhältnisse mahnen lässt.
Korea leidet unter unregelmäßiger Dürre im Frühling, Probleme mit Hochwasser im Sommer und mit Wasserqualität im Gewässer ständig.

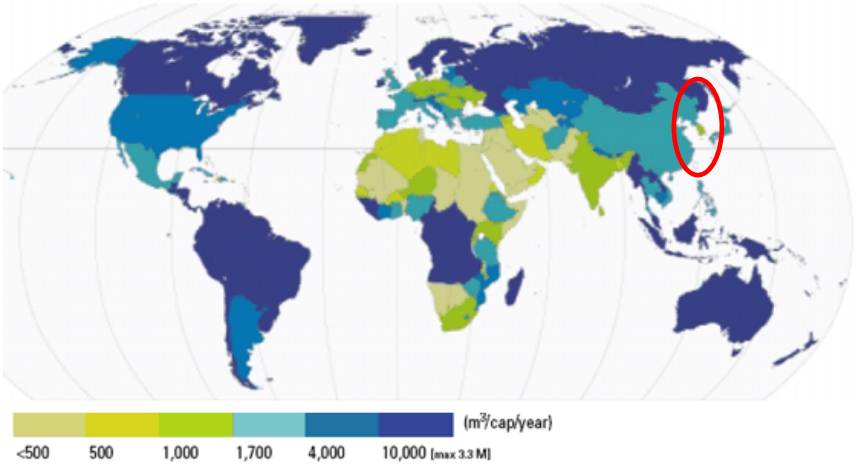


Abb. 2-6 Nutzbare Wassermenge pro Person und Jahr (UNESCO, 2003)

2.3. Wassersystem in der Stadt Seoul

In Korea sind aktuell etwa 90,7% der Bevölkerung an eine zentrale Wasserversorgung angeschlossen, 83,5% leiten ihr Abwasser über Kanalisationssysteme an zentrale Kläranlagen(MOE, 2005). Im Folgenden wird ein Überblick über das vorhandene Wassersystem mit Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung am Beispiel der Stadt Seoul gegeben. Die Wassersysteme anderer Städte in Korea, insbesondere der großen, sind denen von Seoul vergleichbar.

2.3.1. Trinkwasserversorgung

Abb. 2-7 Wasserwerke zur Aufbereitung des Roh-wassers und ihre zuständigen Gebiete.(Seoul Development Institute, 2000)

In Abb. 2-7 werden der Han-Fluss, die Wasserwerke zur Aufbereitung des Rohwassers (gelb, viereckig), die regionalen Wasserreservoirs (blau, rund) sowie die verschiedenen entsprechenden Stadtteile in unterschiedlichen Farben dargestellt.

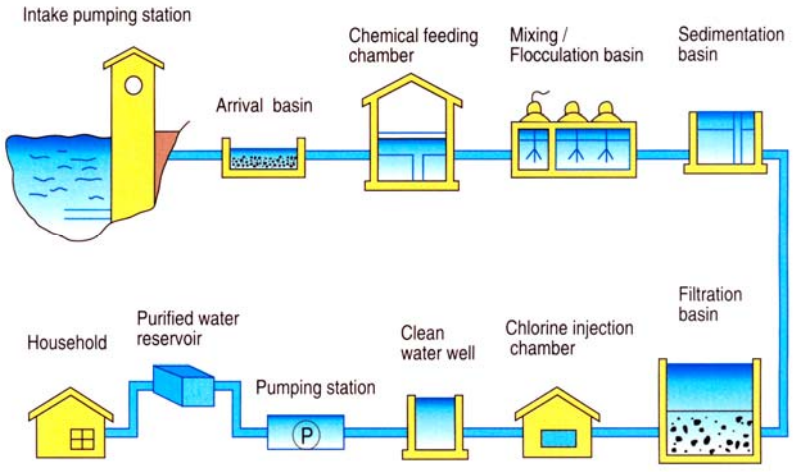


Abb. 2-8: Schematische Darstellung des Prozesses zur Trinkwasseraufbereitung in Seoul. (Seoul Metropolitan Government, 2001)

Die täglich geförderte Wassermenge von ca. 7,6 Mio. m³/Tag (400 Liter/Person und Tag

inklusiv Verluste und Industrieverbrauch) für die Wasserversorgung der Metropolregion Seoul stammt von den sechs Pumpstationen aus dem Han-Fluss. Dieses Wasser wird durch Trinkwasseraufbereitungsanlagen im Wasserwerk aufbereitet und in die regionalen Wasserreservoirs transportiert. Die durchschnittlichen Herstellungskosten für das Trinkwasser liegen bei 39,9 Cent/m^3 und der Wasserpreis auf 34,4 Cent/m^3 (Seoul Metropolitan Government, 2002). Die Differenz wird aus öffentlichen Steuergeldern subventioniert. Tendenziell wird dieser Wasserpreis durch Privatisierungsmaßnahmen aber steigen.

2.3.2. Abwasser- und Regenwasserentsorgung

Die in Seoul überwiegend verbreitete Mischkanalisation ist in drei verschiedene Typen unterteilt und hinsichtlich der abzuführenden Niederschlagsmengen unterschiedlich ausgelegt. Der Anteil der Mischkanalisation gegenüber die Trennkanalisation liegt mit 8.709 km Länge bei knapp 87%. Dieser Anteil in Seoul ist relativ groß im Vergleich mit dem durchschnittlichen Anteil des gesamten Koreas, der 53,7% liegt. Das führt zur alte Kanalisationen im Innenbreich der Stadt zurück. Heutzutage wird die Trennsystem tendenziell heufiger gebaut. In der Abb. 2-9 links sind beispielhaft 4 Kläranlagen und ihre Einzugsbereiche zu sehen. Der Mischkanalüberlauf zur „Tancheon“ Kläranlage befindet sich neben dem Han-Fluss mit Verbund den Mischkanälen. Die Hauptkanäle (rot farbig) sind ausgelegt für 10-Jahres Niederschlagsereignisse (75 mm/Std.) und die örtlichen Kanäle (blau farbig) sind ausgelegt auf 5-Jahres Niederschlagsereignisse (65 mm/Std.). Die Haus-Anschlussleitungen werden für die 3-fache maximale Trockenwetter-Abwassermenge pro Stunde ausgelegt (Seoul Metropolitan Government, 2004).

Abb. 2-9 Mischkanalüberläufe, Abwasserkläranlagen und ihre Einzugsbereiche in Seoul. (Seoul Development Institute, 2000)

Das anfallende Niederschlagswasser im Stadtgebiet von Seoul wird überwiegend in die Mischkanalisation eingeleitet. Aufgrund des hohen Versiegelungsgrades führen schon leichte Niederschlagsereignisse dazu, dass die Mischwassermenge die Kapazität der Kläranlagen übersteigt. Bis zu einem gewissen Grad können die Durchflüsse in den Anlagen erhöht werden, was allerdings zu schlechteren Reinigungsergebnissen führen kann und unter anderem das Problem beinhaltet, dass der Kläranlagenablauf höher mit Schlamm belastet ist als der Einlauf. Auch die Verdünnung des Abwassers führt dazu, dass die biologische Reinigung in den Anlagen nicht mehr richtig funktioniert. (Seoul Metropolitan Government, 2004)

Überschüssiges Abwasser wird ungeklärt in den Han-Fluss eingeleitet oder gelangt bei stärkeren Regenereignissen über Mischkanalüberläufe direkt in Vorfluter, was zu erheblichen Umweltbelastungen führt. In den Gebieten, die mit Trennkanalisation ausgestattet sind, wird das Niederschlagswasser direkt, ohne Vorbehandlung in die Vorflut eingeleitet. Aufgrund der hohen Verschmutzung der Erstabläufe nach langen Trockenzeiten kommt es in einigen lokalen Gewässern jedes Frühjahr zum Fischsterben durch eingeleitetes Straßenablaufwasser (Schütze, 2005).

Mit der Tabelle 2-1 wurden die Einnahme der durchschnittlichen Abwassergebühren und Ausgaben bei der Abwasserentsorgung pro Tonne gezeigt. Die Abwassergebühr wird nach dem Trinkwasserverbrauch erhoben. Dazu gibt es in Korea beim Abwassergebührsystem noch die Verursachergebühr. Die Gebühr ist ein zusätzlicher Betrag beim Neubau durch Abrechnung der Abwassermenge, aber ohne Berücksichtigung der Regenwassermenge. In der Tabelle erkennt man die große Subventionsnotwendigkeit des Wasserpreises aus anderen Einnahmequellen der Zentralregierung. Im Laufe der Privatisierung der Wassersysteme wird die Gebühr wie erwähnt aber zunehmend höher. Von den 136 südkoreanischen Kommunen werden die Abwassergebühren mit einem durchschnittlichen Betrag von 216 Korean Won und einem Abdeckungsgrad von 62,5 % ausgeglichen (MOE, 2005). Das bedeutet nach Wechselkurs ca. 13,5 Cent pro Tonne Trinkwasser.

Tab. 2-1 Abwassergebühren und Abdeckungsgrad (Einheit: Cent(Euro-Cent) pro Tonne, umgerechnet nach Wechselkurs 1 Euro = 1.600 Won; MOE, 2005)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Durchschnittliche Abwassergebühren	10,3	11,4	12,0	13,5	14,6	16,0
Aufbereitungskosten	18,0	19,0	19,8	21,7	24,2	27,7
Abdeckungsgrad durch Gebühr	57,7%	60,2%	61,2%	62,5%	60,2%	57,8%

2.4. Anforderungen an dezentrale Regenwasserbewirtschaftung

Im Folgenden werden die Anforderungen an eine dez. RWB bei der Stadtentwicklung und -erneuerung Koreas beschrieben. Zunächst werden die zunehmenden negativen

Auswirkungen der Urbanisierung und der Klimawandlung auf den vorhandenen Wasserhaushalt und die Entwässerung der Stadt thematisiert.

2.4.1. Auswirkung des demographischen Wandels und der Urbanisierung

Die moderne Stadtentwicklungspolitik in Korea war mit dem raschen Urbanisierungsprozess sehr eng verbunden. Sie war stets mit dem Mangel an Siedlungsflächen als Folge des außergewöhnlich starken Bevölkerungswachstums konfrontiert. In der raschen Urbanisierungsphase zwischen 1960 und 1990 war die extensive Stadterweiterung unvermeidbar. Der absolute Mangel an Wohnungen forderte vom Staat die Schaffung neuer Siedlungen. Der Staat griff zunächst auf die unbebauten Freiflächen, meistens Landwirtschaftsflächen zu. Diese wurden in der wachstumsorientierten Modernisierungsphase als mögliche Reservefläche für die zukünftige Siedlung angesehen (Kim, 2003).

Die Urbanisierung unter koreanischen Rahmenbedingungen ist aus Sicht der Regenwasserbewirtschaftung insbesondere durch die Versiegelung der Flächen und das Bauen von Hochhäusern mit der Folge einer hohen Einwohnerdichte gekennzeichnet. Durch die Renovierung und Stadtentwicklung entstehen die neuen Hochhäusergebiete heutzutage tendenziell mit großen Grünflächen und Trennkanalisation. Die vorhandenen Stadtteile haben meistens Mischkanalisationen mit hohem Versiegelungsgrad und Sanierungsbedarf.

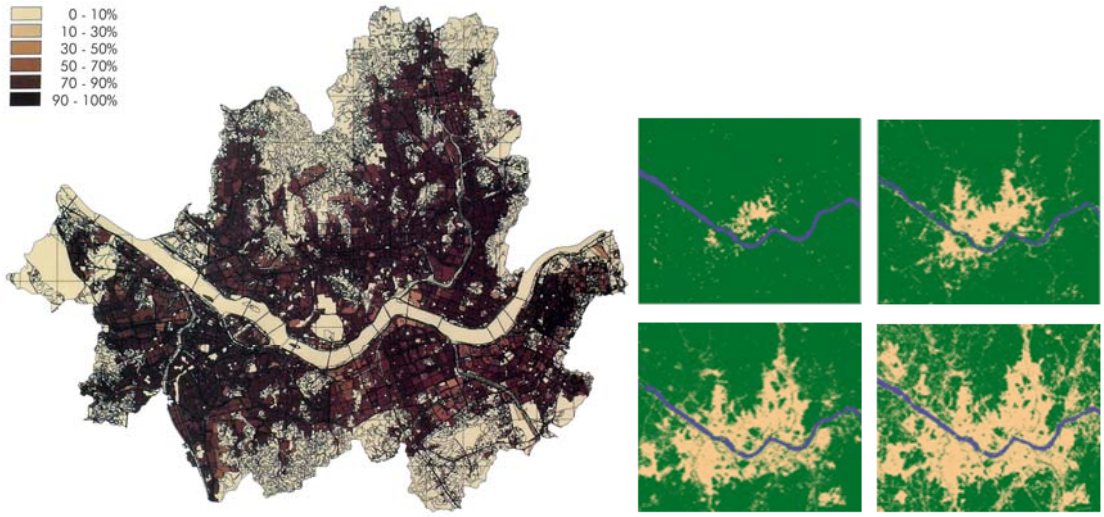


Abb. 2-10 Versiegelungsgrade (l.) der Flächen in Seoul im Jahr 1999 und Urbanisierungsprozess(r.: Im Jahr 1957,1972,1985 und 1997).(Seoul Metropolitan Government. 2000)

Die urbanisierten Flächen in Seoul sind zu einem sehr hohen Grad mit Gebäuden und Verkehrsflächen versiegelt. Der Versiegelungsgrad beträgt in Seoul ca. 50 %. Berücksichtigt man ausschließlich die urbanisierte Fläche des Stadtgebietes von 353 km² (58 %) abgesehen von Gebirgegebiet von Nordteil der Stadt, so liegt der effektive Versiegelungsgrad bei 86 %. Eine grafische Darstellung der unterschiedlichen

Versiegelungsgrade und zugeordneten Flächen ist aus Abb. 2-10 ersichtlich. Entsprechend der Legende markieren dunklere Bereiche höhere Versiegelungsgrade (Seoul Metropolitan Government, 2000).

Abb. 2-11 Hochhäuser im Bau in Seoul (Foto. Kwon, 2003)

Der Anschlussbedarf an den Kanal für die neu entstehenden Flächen wird immer größer. Durch hohe Bau- und Betriebskosten aufgrund der belasteten Kanalisationen und des Aufbereitungsaufwandes der Gewässer werden die Anforderungen an dezentrale RWB in Korea wachsen.

Nach einer Studie von Yeon-Hee Kim(2005) im Korea Meteorological Administration hat die Anzahl der Starkereignisse mit mehr als 20 mm pro Stunde von 9 mal (1961 - 1970) auf 61 mal (1991 - 2000) während der betrachteten 10 Jahre zugenommen. Die Niederschlagsmenge stieg hier von 279,1 mm auf 2.014,4 mm. Die kleinen Partikel durch Luftverschmutzung in der Stadt spielen eine Rolle bei der Regentropfenbildung als Kern. Und im Hochhäusergebiet entsteht häufiger eine steigende Luftmasse, die Wolken bilden kann. Yeon-Hee Kim(2005) schreibt diese Steigerung auch dem hohen Versiegelung und Hochhäusern zu.

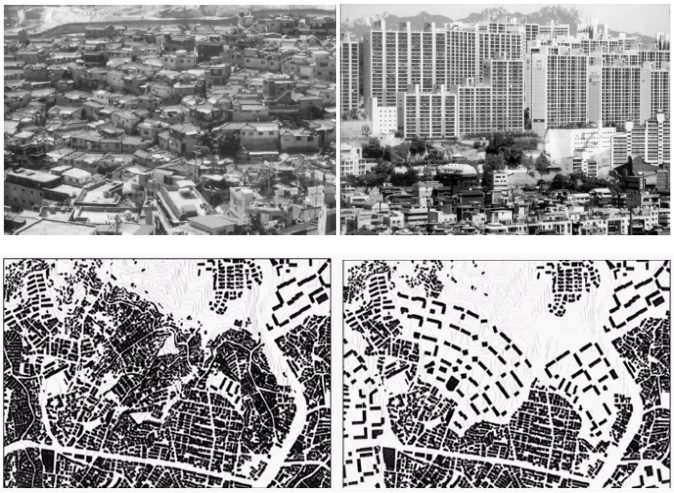


Abb. 2-12 Exemplarisches Beispiel für ein Umbaugebiet in Seoul, vor dem Abriss der bestehenden Bebauung (links oben und unten) und mit Nachfolgebebauung (rechts oben und unten). (K.J. Kim, 2001)

In einigen Städten und Regionen Koreas auch sind Rück- und Umbaumaßnahmen der Netze notwendig, die an die Grenzen des betriebswirtschaftlich Machbaren neben der unerwarteten Sanierungsbedarf gehen. Eine Rekonstruktuierungsstrategie der Wassersysteme in getroffenen Regionen sind mit der Überlegung der Kombinationen der vorhanden System und dez. Maßnahmen erforderlich.

2.4.2. Auswirkungen des Klimawandels

Zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft gibt es heute verschiedene Untersuchungen, die zeigen, dass gravierende Veränderungen zu erwarten sind. Nach Erkenntnissen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ist davon auszugehen, dass es in den nächsten 100 Jahren zu einer Erhöhung der mittleren bodennahen Lufttemperatur um 1,4 bis 5,8 ℃ kommen wird (IPCC, 2001). Und damit verbunden zu einer erhöhten Verdunstung, zu erhöhten Niederschlagsmengen und insgesamt zu einer Veränderung des Niederschlags-charakters (Hillenbrand und Hiessl, 2006).

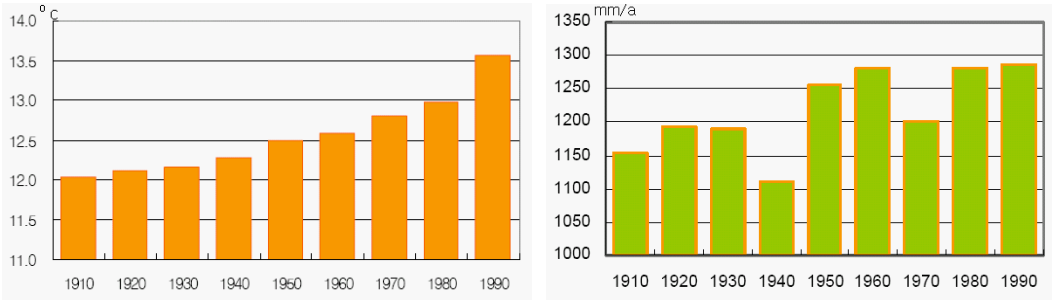


Abb. 2-13 Zunehmende Lufttemperatur und Niederschlagsmenge mit Mittelwert von 10 Jahren in Korea (KMA, 2004)

Die Lufttemperatur in Korea in letzten 100 Jahren steigt ständig und das ist auf eine globale Erwärmung und Urbanisierung zurückzuführen (Abb. 2-13). Die Auswirkungsrate der Urbanisierung ist ca. 20 bis 30 % abzuschätzen. Die detaillierte Auswertung von Niederschlagsmessdaten (14 Messpunkte, 50 Jahre 1954 - 2003) führte zum Ergebnis, dass die Anzahl der Niederschlagstage abnimmt und die Anzahl der Niederschlagstage mit großen Mengen (mehr als 80 mm/Tag) von 1,6 Tage/Jahr (1954 - 1963) auf 2,3 Tage/Jahr (1994 - 2003) zunimmt. Der Niederschlagscharakter wird also extremisiert und die damit verbundenen Hochwasserschäden sowie der gleichzeitige Mangel an Wasser werden immer problematischer (KMA, 2004).

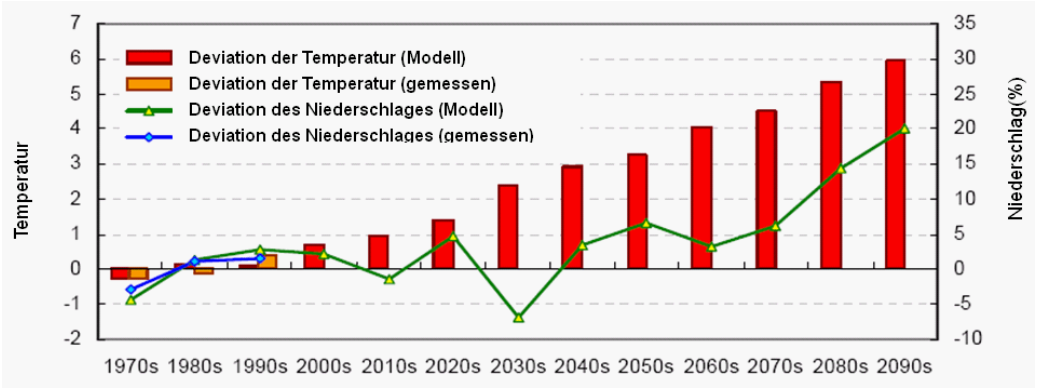


Abb. 2-14 Zunahme der Temperatur und Niederschläge in Korea - nach dem Modell ECHAM4/HOPE-G Max Plank Institut (KMA, 2004)

In der Abb. 2-14 ist zu sehen, dass die Niederschlagsmenge tendenziell steigt, aber

bemerkenswerterweise mit Schwankungen. In den niederschlagsarmen Jahren kann es wegen der Extremisierung auch großen Dürren kommen, die die Wirtschaft auf nationaler Ebene nachhaltig beeinflussen kann. Auch die vorhandenen Entwässerungssysteme in der Stadt werden häufiger belastet und überschwemmt. Die zu erwartenden Sanierungs- und Umbaukosten sind neben den steigenden Kosten durch Hochwasserschäden enorm (Abb. 2-15).

Jahre	Einheit: Mio. Euro
1998	1334,4
1999	1050,4
2000	544,7
2001	1065,4
2002	5202,4
2003	3668,9
2004	965,0

Abb. 2-15 Hochwasser in Seoul und Hochwasserschaden (MOCT, 2006)

3. Dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Deutschland

3.1. Rechtliche Grundlagen und Instrumente

Mit entsprechende Gesetzgebungen und Instrumente kann die dezentrale RWB für eine nachhaltige Stadtentwicklung und ökologische Wasserkreislaufführung effizient vorangetrieben werden. Die beiden Grundlagen spiegeln auch den gegenwärtigen Stand des Umweltbewusstseins und der verfügbaren Technik wieder.

Vor dem Bau der städtischen Kanalisation wurde auftretendes Regenwasser direkt in umliegende Gewässer gespült. Im Verlauf des 20. Jahrhunderts ging man dazu über das Niederschlagswasser, zusammen mit dem Abwässer, durch die Kanalisation so schnell wie möglich aus den urbanen Räumen abzuleiten, Dadurch konnten die hygienischen Verhältnisse erheblich verbessert werden. Das Vorhandensein einer Kanalisation galt derzeit als Haupterfordernis für die Wohnbarmachung eines Bebaubungsgebietes. Dadurch konnte man Gebäude dauerhaft trocken halten lassen und freie Plätze für einen dichten Städtebau schaffen (König, 1894). All diese Vorzüge machten die Ableitung des Regenwassers in eine Kanalisation zunehmend ersterbenswerter.

Das stadtökologisch und wasserwirtschaftlich wünschenswerte Konzept der dez. RWB bedeutet eine Abkehr von der zwangsläufigen Einleitung des Regenwassers in die Kanalisation (Beneke, 1998). Die Maßnahmen zur dez. RWB sehen sich nicht nur technischen Ansprüchen an einen bestimmten Entwässerungskomfort gegenüber, sondern müssen bei ihrer Realisierung auch den rechtlichen Anforderungen genügen. Die geltende Gesetzgebung spiegelt auch die gesellschaftliche Akzeptanz dieser neuen Verfahren für den Umgang mit Regenwasser wieder. Das folgende Kapitel 3.1.1 enthält eine Zusammenstellung von derzeit gültigen Gesetzen und Verordnungen auf EU, Bundes- und Landesebene, in denen Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers, zum Umgang mit Trink- und Niederschlagswasser sowie zur Regenwassernutzung und Versickerung angesprochen bzw. eingefordert werden. Im Kapitel 3.1.2 wird das im Jahr 2001 eingeführte Niederschlagsentgeltsystem vorgestellt. Dieses System ist ein wirtschaftlicher Anreiz zur dez. RWB.

3.1.1. Gesetze verschiedener Ebene

Im Folgenden werden verschiedene EU-Richtlinien zusammengestellt. Jede Richtlinie hat einen direkten oder indirekten Bezug auf die RWB-Maßnahmen.

Tab. 3-1 EU-Richtlinien im Bezug auf die RWB-Maßnahmen, zusammengefasst nach Gantner (2003) und Europäisches Umweltbüro(2003)

Richtlinie	Inhalte und Anmerkungen
Oberflächenwasser-Richtlinie(75/440/EWG, 1975)	Ziel: Schutz von Trinkwasserrelevanten Gewässer wie Seen, Flüsse und Stauseen; durch die WRRL aufgehoben
Richtlinie über die Behandlung von komunalem Abwasser (91/271/EWG, 1991)	Sammeln, Behandeln und Einleiten von kommunalem Abwasser einschließlich des Niederschlagswassers; Ausnahmen unter der Vorraussetzung der Umweltentlastung; möglichkeit der Umsetzung der dezentralen RWB
EG-Badegewässerrichtlinie 2006/7/EG	Bestimmungen für die Überwachung und Einstufung der Qualität von Badegewässern, die Bewirtschaftung der Badegewässer hinsichtlich ihrer Qualität und die Information der Öffentlichkeit über Badegewässerqualität
Trinkwasserrichtlinie(1998)	Anforderungen an die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch
Wasserrahmenrichtlinie WRRL (2000/60/EG)	Schutz der Oberflächengewässer, Übergangsgewässer, Küstengewässer und Grundwassers

In den Jahren 1998 und 1999 wurden zahlreiche Bundes- und Landesgesetze geändert oder völlig neu gefaßt. Um wertvolles Trinkwasser einzusparen und dem Sinken des Grundwasserspiegels entgegenzuwirken wurde dabei der Regenwassernutzung und -versickerung eine zunehmend größere Bedeutung beigemessen. Dies geschah auch vor dem Hintergrung der Entlastung der Abwasserentsorgungssysteme und zur Retention von Niederschlagswasser für die Entschärfung von Hochwasserspitzen (Marcard und Kissel, 1999).

Tab. 3-2 Gesetze auf Bund und Landesebene, die die RWB berücksichtigen, zusammengefasst nach Marcard und Kissel (1999) und BUM(Stand 2009, http://www.bmu.de/-allgemein/aktuell/160.php)

Bund	Inhalte und Anmerkungen
Wasserhaushaltgesetz (WHG) (Stand 2002)	Grundlagen und Rahmengesetz des Wasserrechts in Deutschland; wird ergänzt durch Landeswassergesetze; Ordnungrechtlichen Anforderungen an den Schutz und die Nutzung der Gewässer (Oberflächengewässer und Grundwasser)
Baugesetzbuch(BauGB) (Stand 2004)	Inhalt: Bauleitpläne(Flächennutzungsplan, Bebauungsplan) ökologische Zielstellung: Bodenversiegelungen auf das notwendige Maß zu begrenzen
Bundesbodenschutz-gesetz (BBodSchG, Stand 2004)	Die Leistungsfähigkeit des Bodens hinsichtlich seiner natürlichen Funktion und für Nutzungen aller Art zu sichern oder wiederherzustellen. Auswirkung auf die dez. RWB: durch z.B. Versickerung oder Ver-/Entsiegelung wird direkt Einfluss auf den Boden genommen wird
Bundesnaturschutz-gesetz (BnatSchG, Stand 2008)	Natur und Landschaft sind für die künftigen Generationen so zu schützen, bzw. soweit erforderlich wiederherzustellen, dass die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts, die nachhaltige Nutzungsfähigkeit der Naturgüter, die Tier- und Pflanzenwelt einschließlich ihrer Lebensräume sowie die Vielfalt auf Dauer gesichert sind. Forderung des Ausgleichs bei unvermeidbaren Eingriffen durch naturnahe Maßnahmen z.B. Entsiegelung und Versickerungsmulden
Land Berlin	Inhalte und Anmerkungen
Berliner Wassergesetz (Stand 2005)	Soweit eine Verunreinigung des Grundwassers nicht zu vermeiden ist, soll Niederschlagswasser über die belebte Bodenschicht versickert werden. Keine Genehmigung von kleinen Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen
Bauordnung (Stand 2006)	eingeschränkter Anschlusszwang für Niederschlagswasser; Versickerungsgebot; Der Anschlusszwang an die Kanalisation gilt nicht für Niederschlagswasser, wenn Maßnahmen zu dessen Rückhaltung oder Versickerung durch einen Bebauungsplan festgesetzt oder genehmigt sind

Die bestehenden Landeswassergesetze der einzelnen Bundesländer sind sich in weiten Bereichen ähnlich. Obwohl es Unterschiede im Bereich der Beseitigung von Niederschlagswasser oder bei der Mischwasserbehandlung gibt, wurde die Notwendigkeit der Versickerung von Niederschlagswasser in der Gesetzgebung aller Bundesländern durchaus erwähnt (Gantner, 2003). So geht das geänderte Wassergesetz in Berlin beispielsweise auf einen sparsamen Umgang mit Wasser ein (Marcard und Kissel, 1999).

Ein weiteres Beispiel sind die Satzungen über die Grundstücksentwässerung. In der Satzung wurde die Befreiung vom Anschluss- und Benutzungszwang unter bestimmten Regenwasseranlagen vorgesehen(Stadt Freiburg, 2001). In Braunschweig wurde auch wie andere Städte in Deutschland die Gebühren für Abwasser- und Niederschlagswasserbeseitigung getrennt bestimmt(Stadt Braunschweig, 1999).

In einem Bauvorhaben mit ökologischem Konzept sollte das Niederschlagswasser

nach den „Ökologischen Planungskriterien für Wettbewerbe“ der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin(2001), den örtlichen Gegebenheiten entsprechend im Gebiet zurückgehalten, genutzt bzw. gedrosselt dem Untergrund zugeführt werden. Diese Planungskriterien beschreiben sogar die grundsätzliche Vermeidung der Einleitung in die Kanalisation.

3.1.2. Niederschlagsentgeltsystem

Im Jahr 2000 wurde in Berlin das Niederschlagsentgeltsystem eingeführt. Diese berechnet sich nach der Auffangfläche und dem Versiegelungsgrad. In der Tab.3-3 ist die Niederschlagswasser-und Schmutzwassergebühr in deutschen Städten im Stand 1999/2000 und 2006 dargestellt. Bei der Umsetzung der dezentralen RWB kann diese Gebühr entfallen. Dies kann, zusätzlich zu den ökologischen und wasserwirtschaftlichen Votreilen sowie dem wirtschaftlichen Anreiz, wiederrum zu einer Verbesserung der Gebührengerechtigkeit führen.

Wenn der durch Gebühren zu deckende Kostenanteil für die Regenwasserbeseitigung von den angeschlossenen Grundstücken an den gesamten Kosten der Entwässerung mehr als 12% beträgt, müssen separate Entgelte erhoben werden (BverwG, Bschl.v.02.03.1985-11/84).

Tab. 3-3 Niederschlagswasser-und Schmutzwassergebühr in deutschen Städten (Berliner Wasserbetriebe, Stand 1999/2000 und 2006 in Berlin, mit Euro umgerechnet)

Stadt	Abwassergebühr	
	Niederschlagsentgelt (Euro/m²·a)	Schmutzwassergebühr (Euro/m³)
(Stand 2000)		
Krefeld	0,77	1,98
Augsburg	0,92	1,11
Aachen	0,93	2,03
Frankfurt/O.	0,93	2,83
Duesseldorf	0,94	2
Koeln	1,08	1,2
Berlin	0,88	1,93
Muenchen	1,27	1,53
Bonn	1,53	1,15
Halle	1,65	2,77
Wuppertal	1,84	1,76
(Stand 2006)		
Berlin	1,533	2,465

Dieses Urteil des Bundesverwaltungs-gerichtes war das entscheidende Motiv für die Einführung des Niederschlagswasserentgelts in Deutschland (Hennig, 2000). Das Hessische Wassergesetz (HWG) vom 22.01.1990 lieferte entscheidende Grundlagen für eine Gebühren-umstellung und die Forderung nach einer Regenwassernutzung bzw. –versickerung. Im §51 Abs. 3 heißt es: „Abwasser, insbesondere Niederschlagswasser, soll bei demjenigen, bei dem es anfällt, verwertet werden, wenn wasserwirtschaftliche und gesundheitliche Belange nicht entgegenstehen. Niederschlagswasser soll darüber hinaus versickert werden. “§52 Abs. 5 HWG legte schließlich den Grundstein für die Einführung eines Steuerungsinstrumentes, um die

oben genannten Maßnahmen durchzusetzen. „Die zur Abwasserbeseitigung gebildeten Verbände können durch Satzung für Gebühren und Beiträge nach den Vorschriften des Gesetzten über kommunale Abgabe in der jeweils geltenden Fassung erheben.“ Dazu wurde die entsprechende neue Satzung eingeführt (Diwisch, 2000). In der Freiburger Abwassergebührensatzung werden beispielsweise Schmutzwasser-gebühren und Niederschlagswassergebühren getrennt erhoben, wenn die versiegelte Fläche eines Grundstückes 1.000 m^2 oder mehr beträgt (§3. Gebührenmaßstab. Abwasser-gebührensatzung vom 26. Nov. 1996 Freiburg). Hierzu zählen in Braunschweig z.b. auch Gebäudeüberstände (z.B. Arkaden/Dachüberstände) die über die Grundstücks-grenze hinausgehen (§3. Gebührenmaßstab für die Niederschlagswassergebühr: Satzung vom 14.Dez. 1999 Braunschweig)

3.2. Technische Maßnahmen

3.2.1. Anforderung an den neuen Ansatz zur Regenwasserbewirtschaftung in Berlin

Das Regenwasser in Berlin wird im Innenstadtbereich zusammen mit dem Schmutzwasser von der Mischkanalisation, im übrigen Stadtgebiet von der Regenwasserkanalisation im Trennsystem, aufgenommen und abgeleitet. Bei der Mischkanalisation wird ein großer Aufwand für den Transport des Mischwassers betrieben, um durch eine entsprechende Abwasserverdünnung die Rieselfelder dauerhaft nutzen und die innerstädtischen Gewässer entlasten zu können. Starke Regenfälle können zu einer Überlastung der Kanalisation oder der Pumpenwerke führen. In diesem Fall gelangt ungereinigtes Mischwasser direkt in die Gewässer. Diese Regenüberläufe stellen einen Kompromiss hinsichtlich der Bemessung der technischen Systeme, deren Wirtschaftlichkeit sowie der hydraulischen und stofflichen Belastung der Oberflächengewässer dar (Bramm, 1998).

In Stadtgebieten mit Trennkanalisation fließt das Regenwasser direkt in die Gewässer und belastet vor allem kleine Gewässer durch eine hohe Schmutzfracht. Für die Berechnung der Regenwasserkanäle wird in Berlin eine maximale Niederschlags-menge von 115 Liter pro Hektar und Sekunde, bezogen auf eine Dauer von 15 Minuten, zugrunde gelegt. Bei der Auslegung der Regenwasserkanalisation kam es auf eine möglichst direkte Ableitung des Regenwassers in Fließgewässer bzw. Vorfluter an. Die zunehmende Versiegelung der Oberflächen, der rapide Ausbau des Straßennetzes und dessen Verschmutzung haben in den letzten Jahrzenten an vielen Stellen zu kritischen Belastung der Oberflächengewässer geführt und die Grundwasserneubildung stark eingeschränkt. Für Berlin sind 15-30 solcher Mischwasserüberläufe jährlich zu registrieren (Goedecke und Klein, 1998).

Die aufgrund des Nährstoffeintrags auftretenden Sauerstoffzehrungen können in den Sommermonaten zum Fischsterben führen. Am 05. Juli 2005 verendeten Tausende von Fischen in der Spree und im Berliner Landwehrkanal. Die Ursache waren Regen,

Abwässer und ein überfordertes Wasserentsorgungssystem. Die Sanierung und zusätzliche Stauräume wurden in Medien angefordert (Christian van Lessen, 2005). Nachdem die Klärwerksleistungen in den letzten Jahren deutlich verbessert wurden, ist die Belastung der Oberflächengewässer durch direkte Einleitung von Regenwasser und Mischwasserüberläufe heute größer als durch die Einleitung gereinigter Abwässer. Hier wurden Programme zur Reduzierung der Bodenversiegelung wie das so genannte Schulhofentsiegelungsprogramm und das Hofbegrünungsprogramm durchgeführt. Durch die Abkoppelung versiegelter Flächen können hydraulische und stoffliche Belastungen der Regen- und Mischkanalisation wirkungsvoll reduziert werden (Bramm, 1998).

3.2.2. Modifizierte Kanalisation im Verbund mit dez. RWB-Maßnahmen

Die folgenden schematischen Darstellungen zeigen Grundkonzepte der konventionellen Stadtentwässerungen und die durch dezentrale Maßnahmen modifizierten Systeme. Die Rote Linie steht dabei für die Abflüsse mit einer relativ großen Schmutzfracht, für die geeignete Aufbereitungsmaßnahmen notwendig sind. Die blaue Linie zeigt Abflüsse deren Wasserqualität den geetzlichen Grenzwerten entspricht.

In der Abb. 3-1 wird die Umsetzungsvariante im bestehenden Mischsystem dargestellt. Dem Mischkanal wird nur häusliches und betriebliches Schmutzwasser sowie behandlungsbedürftiger Niederschlag zugeführt (ATV-A105, 1997). Der Schwerpunkt der Umweltentlastung in Mischkanalisationsgebieten liegt auf der Reduzierung der maximal auftretenden Ablaufintensitäten des Oberflächenabflusses. Stadtökologisch ist diese Größe von entscheidender Bedeutung, da Mischwassermenge direkt von diesen einzelnen Starkniederschlagsereignissen abhängig ist. Bei dieser Fragestellung ist der mittlere bzw. ganzjährige Abflussbeiwert Ψm nicht von Bedeutung. Vielmehr sind einzelne Ereignisse hinsichtlich Ihrer Auftrittshäufigkeit und der gemessenen Niederschlags- Abflußbeziehung zu charakterisieren.

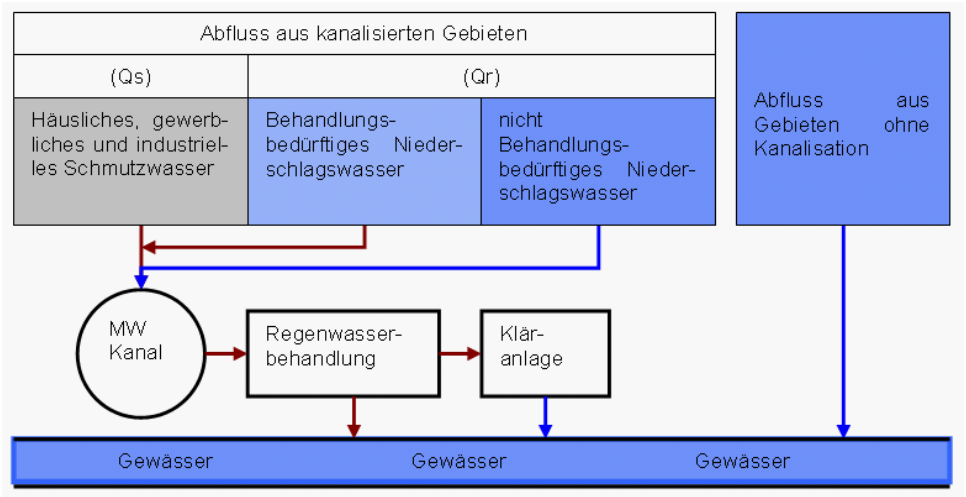


Abb. 3-1 Schematische Darstellung einer Entwässerung im Mischsystem(ATV A105, 1997; Modifiziert von Kwon)

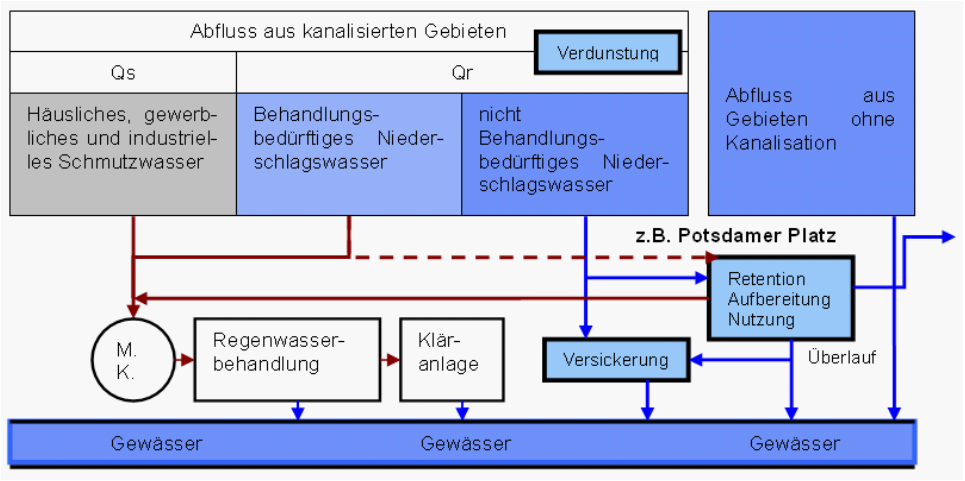


Abb. 3-2 Schematische Darstellung einer Entwässerung im modifizierten Mischsystem mit dezentralem Konzept(ATV A105, 1997 ; Modifiziert von Kwon)

Das nicht behandlungsbedürftige Niederschlagswasser wird unmittelbar am Entstehungsort bzw. nach seiner Ableitung versickert oder, nach der Vorklärung durch Absetzbecken in Zisternen abgeleitet und gesammelt. Im Anschluss kann es für die Toilettenspülung, Bewässerung oder Hausreinigung genutzt werden. Behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser kann durch entsprechende Maßnahmen für die o.g. Nutzungen aufbereitet werden, wenn der Betriebswasserverbrauch durch das nicht behandlungsbedürftige Niederschlagswasser nicht abgedeckt wird. Durch Versickerung und Retention kann der Spitzenabfluss je nach Größe und Leistungen der Anlagen reduziert werden. Damit kann die Kanalisation entlastet und die Auftrittshäufigkeit von Überläufen bei Starkniederschlagsereignissen verringert werden. Dieses Konzept wurde beispielsweise am Potsdamer Platz realisiert. Die Abb. 3-3 und 3-4 zeigen die Entwässerungsprinzipien von bestehenden und modifizierten Trennsystemen. Bei getrennter Kanalisation für Regen- und Schmutzwasser werden in der Regel die im Regen gelösten Nähr- und Schadstoffe sowie die auf versiegelten Flächen akkumulierten Staubniederschläge mit jedem Niederschlagsereignis direkt in die Oberflächengewässer eingetragen.

Beim modifizierten Trennsystem wird häusliches und betriebliches Schmutzwasser dem Schmutzwasserkanal zugeführt. Nicht behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser wird unmittelbar am Entstehungsort oder nach Ableitung versickert bzw. direkt in ein oberirdisches Gewässer eingeleitet. Dieses Konzept wurde in vielen Neusiedlungsgebieten wie z.B Karow Nord in Berlin oder Kirchsteigfeld in Potsdam umgesetzt.

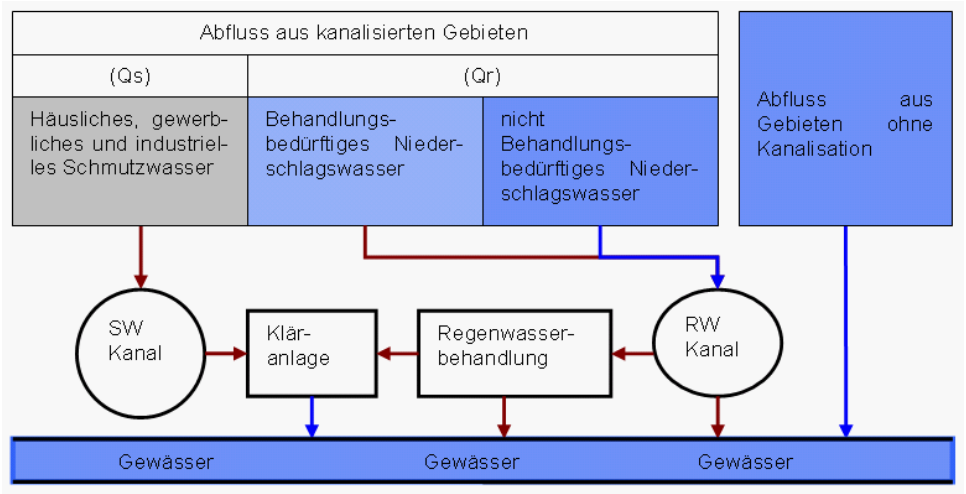


Abb. 3-3 Schematische Darstellung einer Entwässerung im Trennsystem(ATV A105, 1997; Modifiziert von Kwon)

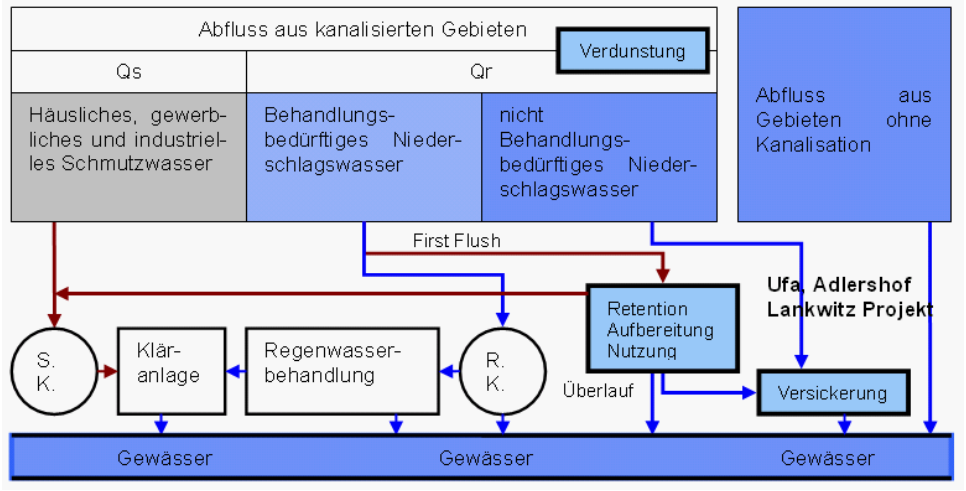


Abb. 3-4 Schematische Darstellung einer Entwässerung im modifizierten Trennsystem mit dezentralem Konzept(ATV A105, 1997 ; Modifiziert von Kwon)

Sofern sich ein Anfall von behandlungsbedürftigem Niederschlagswasser nicht vermeiden lässt, wird dieses in der Regel in einem Regenwasserkanal einer Regenwasserbehandlung zugeführt (ATV-A105, 1997). Dieses Niederschlagswasser besonders der „First Flush“ kann aber auch in die Zisternen eingeleitet und für die Toilettespülung genutzt werden. Über Toiletten werden die Schmutzfracht und besonders Schwermetalle mit der Nutzung wieder in den Schmutzwasserkanal geleitet und können schließlich in der Kläranlage entfernt werden. Dieses Konzept wurde z.B. im Lankwitz Berlin und in der Ufa-Fabrik realisiert. Auch im so genannten Adlershof Projekt wurde das Niederschlagswasser für die Bewässerung und Gebäudekühlung genutzt und eventuelle Überläufe von Zisternen wurden in die Versickerungsfläche eingeleitet (s. Kap. 3.3).

3.3. Umsetzungsbeispiele in Berlin

3.3.1. Neue Wohngebiete Buchholz

Das Planungsgebiet in Buchholz bestand bis 1995 hauptsächlich aus Acker- und Brachflächen. Nach den Entwicklungsschwerpunkten der vom Senat 1992 verabschiedeten Wohnungsbaustrategie sollten neben der Deckung des angestiegenen Wohnungsbedarfs auch Gestaltungsansprüche nach dem Leitbild der neuen Berliner Vorstädte erfüllt werden. Geplant wurde ein neues Quartier für 6.200 Bewohner. Zur gleichen Zeit entstand eine Grundschule, 5 Kindertagesstätten, eine Jugendfreizeitstätte, ein pädagogisch betreuter Spielplatz mit Spielhaus, 83.000 m^2 Wohnstraßen, 99.000 m^2 öffentliche Grünanlagen und Spielplätze. Ein großer Grünzug von Ost nach West soll eine übergeordnete Grünverbindung zwischen dem alten Ortskern und dem Krugpfuhl darstellen. (Fischer-Distaso, 2003)

Aufgrund eines Gutachtens der Berliner Wasserbetriebe wurde von einer zusätzlichen Einleitung in den Hauptvorfluter Panke abgeraten (Geiger, 1992, zitiert von Fischer-Distaso, 2003). Ein weiterer Regenwasserzufluss durch den Anschluss versiegelter Flächen würde zu einer deutlichen Erhöhung von Hochwassergefahr in den inneren Bezirken von Berlin führen.

Das Regenwasser sollte also weitergehend vor Ort versickern bzw. zurückgehalten werden. Zusätzlich müssten ehemalige Überflutungsräume, die im Rahmen städtebaulicher Maßnahmen der Panke entzogen wurden, wiederhergestellt werden.

Abb. 3-5 Regenwasserversickerung durch Mulden in Siedlungsgebiet

Durch die geänderten wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen im Planungsgebiet kam eine vollständige Ableitung des Regenwassers nicht mehr in Betracht. Unter diesen Vorraussetzungen wurden die Kanäle im Planungsgebiet nur für die Entwässerung der Straßen- und Gehwegsbereiche sowie der straßenbegleitenden Stellplätze dimensioniert. Das Niederschlagswasser von privaten und öffentlichen Grundstücken muss dezentral auf den Grundstücken versickert, zurückgehalten bzw. verzögert abgeleitet werden. Für das gesamte Gebiet wird das Mulden-Rigolen-System zur Anwendung gebracht, in dem das Regenwasser über offene oder geschlossene Rinnen einer Mulde zugeführt. Als Notentlastung für außergewöhnliche Niederschlagsereignisse sind Überläufe in die öffentliche Kanalisation vorgesehen.

3.3.2. Stadtzentrum am Potsdamer Platz

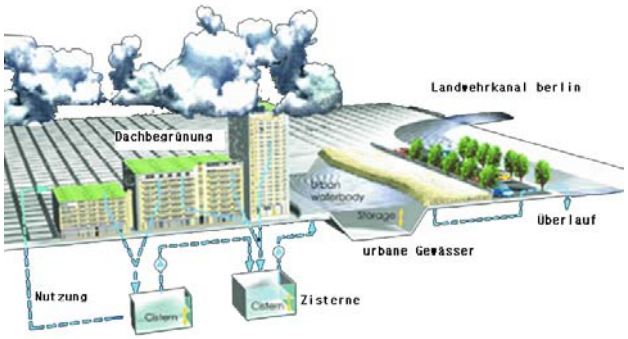


Abb. 3-6 Regenwasserbewirtschaftungskonzept am Potsdamer Platz Berlin(Quelle: Dreiseitl)

Der Potsdamer Platz befindet sich in einem Mischkanalisationsgebiet im Zentrum Berlin. In diesem Neubauprojekt wurden verschiedene ökologische Maßnahmen umgesetzt. Durch die Begrünung von Dächern mit einer Fläche von ca. 17.000 m^2 kann ein Regenwasserrückhalt von bis zu 80% erreicht werden. Der Regenwasseranteil, der nicht zurückgehalten wird, kann in fünf Zisternen mit einem Gesamtvolumen von ca. 2.600m^3 dunkel und kühl gespeichert werden. Von diesem Wasser stehen im Jahresdurchschnitt ca.7.700 m^3 Wasser für den Betrieb von urbanen Gewässern, für Grünbewässerung und Toilettenspülung zur Verfügung. Um Starkregenereignisse verzögert, in den seitlich verlaufenden Landwehr Kanal, abschlagen zu können, wird ständig ein festgelegter Anteil der Zisternen (ca. 900m^3 von 2.600m^3) als Puffervolumen vorgehalten. Zusätzlich kann das Hauptgewässer um bis zu 30cm eingestaut werden. Dies alleine entspricht einem Puffervolumen von ca. 1.300m^3 (Dreiseitl, 1999). Bei einem Überschreiten dieses Volumens wird das Regenwasser gedrosselt in den Landwehrkanal abschlagen.

Tab. 3-4 Projektdaten am Potsdamer Platz (Dreiseitl, 1999; Inbetriebnahme Okt. 1998)

Angeschlossene Dachflächen	48.500 m^2	Geringste Gewässertiefe	0,27 m
Wasserfläche	Ca. 12.000 m^2	Größte Gewässertiefe	1,85 m
Wasservolumen	Ca. 12.000 m^3	Speichervolumen Wasserbecken	Max. 3.000 m^3
Reinigungsbiotop Oberfläche	Ca. 1.700 m^2	Speichervolumen der Nebenspeicher in den Gebäuden	Ca. 3.000 m^3

3.3.3. Renovierungswohngebiet Lankwitz

Die im Jahr 1952-53 errichtete Kleinraumsiedlung in Lankwitz Berlin wurde ab 1995 saniert und ergänzt. Durch Aufstockungen und Neubauten entstand ein nachverdichtetes Wohngebiet. Die gesamte Haustechnik wurde erneuert und unter anderem mit einer wassersparenden Sanitärtechnik ausgerüstet. Die vorhandene Schmutz- und Regenwasserkanalisation wurde beibehalten und mit neuen Gebäuden angeschlossen. Durch die starke Versiegelung und wegen der schlechten Versickerungsmöglichkeiten entschied man sich für ein neues Verfahren der Regenwasserbewirtschaftung. Die im Sommer 1999 fertiggestellte Regenwasser-nutzungsanlage ist – vermutlich weltweit – die erste Anlage, bei der durch die ersten

Spülstöße, primär das stärker verschmutzte Niederschlagswasser, von öffentlichen Straßen in einen Regenwasserspeicher eingeleitet wird.

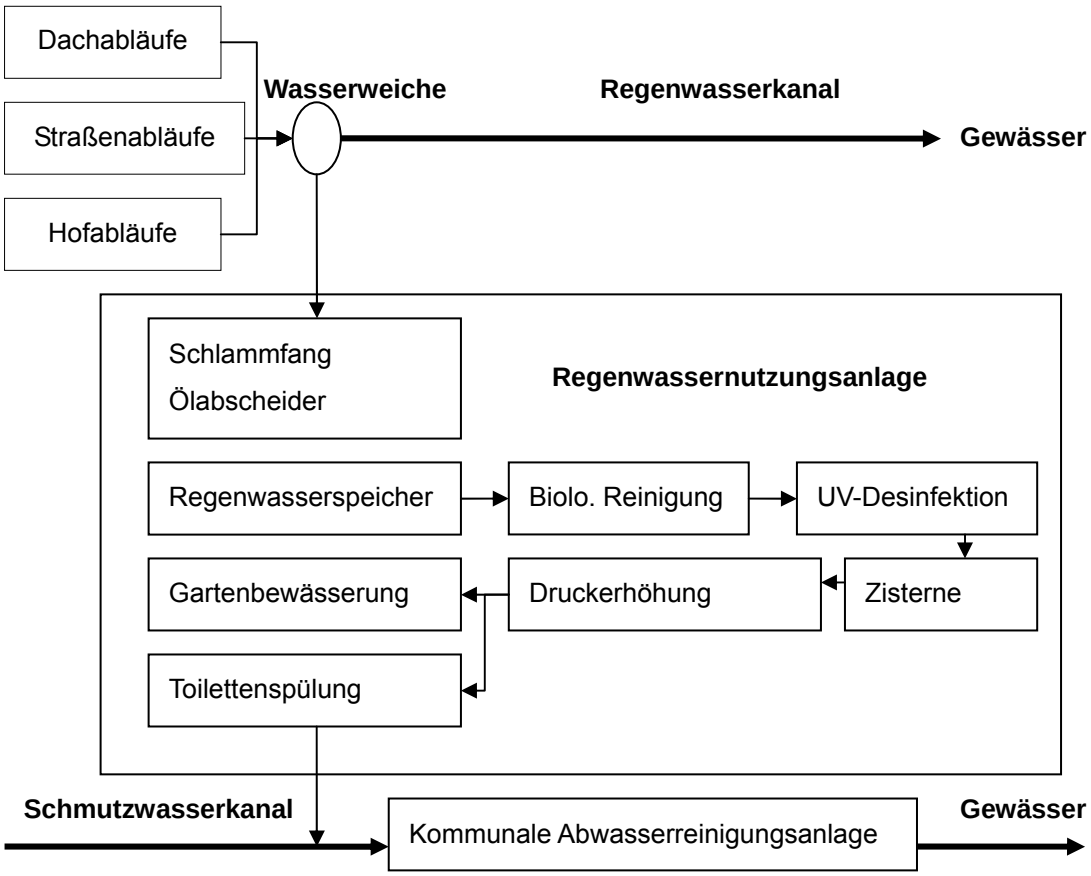


Abb. 3-7 Regenwassernutzungskonzept im Berlin-Lankwitz. (Reichmann, B. und E. Nolde, 2001)

Tab. 3-5 Technische Anlagendaten (Reichmann, B. und E. Nolde, 2001)

Inbetriebnahme	Im Jahr 2000
Versorgungsbereich	Alle WCs in 80 Mietwohnungen und 6 Kleingewerbeeinheiten
Angeschlossene Fläche	Ca. 7.325 m^2 Dachfläche und 4.450 m^2 Verkehrsfläche
Dachmaterial	Flachdächer aus Faserzement, Wellplatten und z.T. bekieste Flächen
Verkehrsflächen	ca. 1.458 m^2 Anliegerstraße aus Beton, der Rest meist teilversiegelte Flächen
Speicher	190 m^3 Ortsbetonspeicher unter dem Keller
Aufbereitung	Sandfang mit Leichtflüssigkeitsabscheider, zweistufiger Kiesfilter und anschließender UV-Desinfektion
Druckerhöhungsanlage	3 mehrstufige Gliederpumpen und 200 Liter Druckausgleichsgefäß
Überlauf	Der Überlauf in den Regenwasserkanal befindet sich außerhalb der Zisterne.

Im März 2000 wurde das zweite Leitungsnetz durch ein Einfärben des Betriebswassers überprüft. Nachdem festgestellt werden konnte, dass keine Querverbindungen zum Trinkwassernetz bestehen, werden heute etwa 200 m mit Betriebswasser für die Toilettenspülung und zur Freiflächenbewässerung versorgt (Senatverwaltung für Stadtentwicklung, 2003).

3.3.4. Kulturzentrum Ufa-fabrik

Die Ufa-Film Fabrik wurde im Jahr 1920 errichtet und als zentrales Kopienlager für deutsche Filmstudios in Berlin verwendet. Die Fabrik wurde seit dem zu einem kulturellen Zentrum und zum Aufstellungsort verschiedener städtischer Ökologieprojekte. Das Wasser von den verschiedenen begrünten und nicht begrünten Dächern wird zusammen mit dem Straßenabflusswasser in einer ehemaligen unterirdischen „waterworks Station“ gespeichert.

Das System hat eine Gesamtspeicherkapazität von 240 m³ in zwei Zisternen, mit einem kombinierten Volumen von ca. 7,3% des jährlichen Niederschlags. Das System ist so ausgelegt, dass zuerst hauptsächlich "First Flush" in den Zisternen gespeichert wird. Dadurch werden die Verschmutzungsstoffe und Nährstoffe in diesem System zurückhaltet und gereinigt. Das Regenwasser wird für Toilettenspülung und Bewässerung benutzt. Durch die hohe Dichte an Gärten in der Umgebung der UFA Fabrik Gemeinschaft werden ca. 72% des Betriebswasser zur Bewässerung und für die Toilettenspülung durch Regenwasser abgedeckt und die Reste von ca. 28% stammen von allgemeinen Trinkwasserlieferanten (Schmidt, 2003).

Tab. 3-6 Technische Daten der Anlagen (Schmidt, 2003)

Auffangfläche	
Traditionelle Dächer:	3.100 m²
Grüne Dächer:	2.600 m²
Gepflasterte Höfe und Straßen:	1.900 m²
Bewässerter Bereich:	6.000 m²
Anlagedaten	
Regenwasserzisterne	240 m³
Durchschnittlicher täglicher Gebrauch	6,3 m³ (3 - 11m³)
Pflanzenkläranlage(Bodenfiltration)	25 m²

3.3.5. Physik-Gebäude der Humbold Universität in Adlershof

In einem Projekt des Architekturbüros Augustin und Frank werden verschiedene innovative stadtökologische Maßnahmen realisiert und auf ihre Baupraxistauglichkeit erprobt. Das Projekt wird vom Landesprogramm für „Stadtökologische Modellvorhaben“ der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Bereich ökologisches Bauen) sowie durch die TU Berlin begleitet. Zweck der Begleituntersuchung dieseses Programmes ist es, abgesicherte Ergebnisse für die Weiterentwicklung des Bauens

und des Städtebaues, im Sinne ökologischer Ziele, zu gewinnen. Einen Schwerpunkt bildet dabei das Konzept zur Umsetzung von Maßnahmen der dezentralen RWB. Als eines von wenigen Gebäuden bundesweit, wird hierbei vollständig auf eine Ableitung des Regenwassers aus den Gebäudegrenzen verzichtet. Das Regenwasser wird in Zisternen gesammelt und u.a. für die Gebäudeklimatisierung mittels Fassadenbegrünung und Klimaanlagen mit adiabater Kühlung in den Sommermonaten eingesetzt. Überschüssiges Wasser wird im Innenhof durch den Anstau eines Teiches zur Versickerung gebracht bzw. verdunstet (Schmidt und Kwon, 2006).

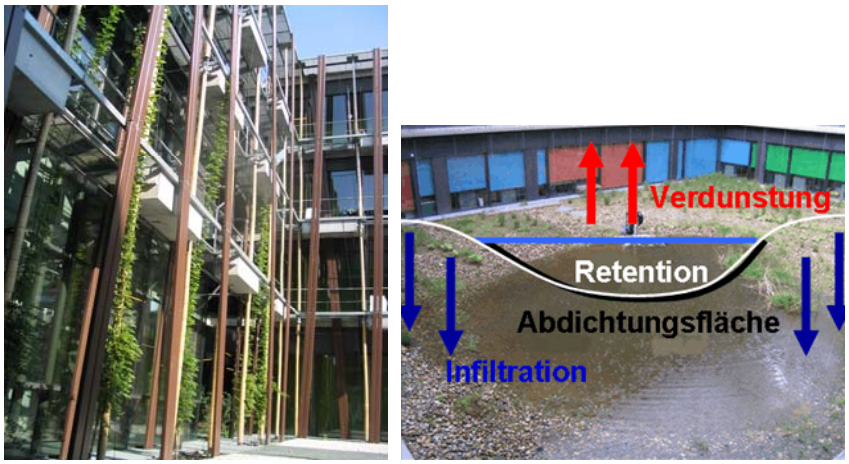


Abb. 3-8 Regenwasserkonzepte durch Fassadenbegruenung und Teich in Adlershof Berlin (Foto und Skizze: Kwon)

Tab. 3-7 Technische Daten der Anlagen

Klimaanlagen mit adiabater Kühlung	7
Begrünte Fassadenkübel	151
Zu entwässernde Dachfläche	4.700 m^2
Fläche Teich im Südhof	225 m^2
Versickerungsfläche um den Teich	450 m^2
Volumen der Regenwasserzisterne	40 m^3

4. Entscheidungshilfesystem für dezentrale Regenwasser-bewirtschaftungsmaßnahmen

4.1. Entscheidungshilfe für die grundsätzlicher Bewirtschaftungsstrategie

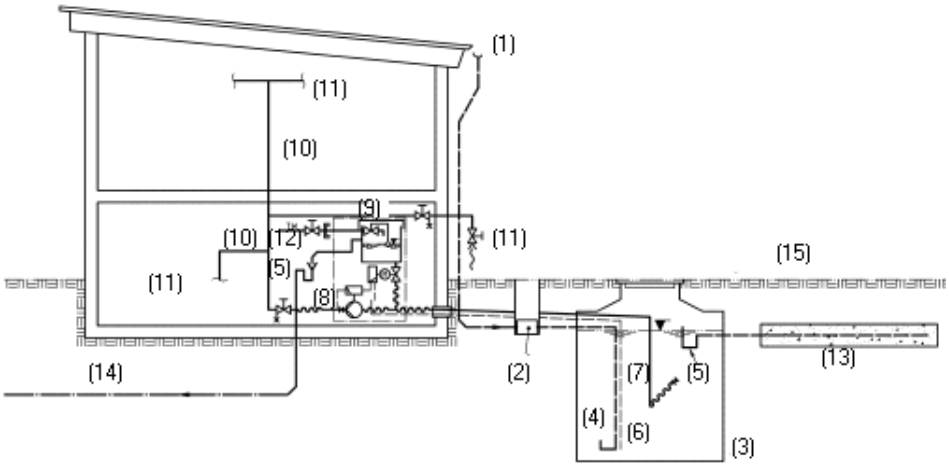
Prinzipiell gibt es verschiedene Methoden, die zur Umsetzung der dez. RWB geeignet. Bei der Planung dieser dez. Maßnahmen, sollte stets verschiedene Fragestellungen beachtet werden. Inwieweit sie in der Lage sind Gewässer vor stofflichen und hydraulischen Belastungen zu schützen, Grundwasserneubildung und Trinkwasser-ersparung zu erhöhen.

Eine Entscheidungshilfe wurde von Gantner zu diesem Zweck in Form einer Matrix entwickelt. Diese ermöglicht die Auswahl geeigneter dezentraler Maßnahmen, unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit, für den Raum Berlin-Brandenburg. Nach Anpassung der entsprechenden Zielgrößenbewertung kann sie auch in anderen lokalen Zusammenhängen eingesetzt werden (Gantner, 2002).

In trockenen Perioden, wenn allgemein der Wasserbedarf am höchsten ist, muss Wasser aus dem öffentlichen Netz in den Vorratstank nachgespeist werden, um den Betrieb von Toilette und Waschmaschine sicherzustellen. Daher kann das Trinkwassernetz durch die Nutzung von Regenwasser im Durchmesser nicht reduziert werden. Ungefähr 90 Prozent der Kosten eines Wasserversorgungsunternehmens in Deutschland sind Festkosten, die in erster Linie durch das Rohrnetz verursacht werden. Diese Kosten, die an die Kunden weitergegeben werden, führt bei der sinkenden Abgabemenge zu einem Anstieg des Wasserpreises pro verbrauchten Kubikmeter Wasser, falls die Kosten für die Wasserversorgung ausschließlich verbrauchsabhängig erhoben werden (Umweltbundesamt, 2005).

Eine aktuelle Untersuchung „zur hygienischen Kontrolle der Regenwasser-nutzungsanlagen in Deutschland “kam zu dem Schluss, dass nach mehrjähriger Laufzeit 70 % der Regenwassernutzungsanlagen zu beanstanden waren. Dieser Missstand beruht auf einem falschen Abstand bei der Trennung zwischen Trinkwasser- und Regenwassersystem oder einer direkten Verbindung zwischen beiden Leitungssystemen. Ein wenig sorgfaltiger Umgang mit Regenwassernutzungsanlagen kann leicht zu erheblichen Kosten und Nutzungsausfallen führen. Die o.g. 2 wirtschaftliche und hygienische Argumentationen sind die Hauptprobleme bei der Regenwassernutzung neben der doppelten Verrohrung, erhöhten Betreibs/ und wartungsaufwand und langen Amortisationszeit.

Einige Regenwerke und DIN Normen werden für die Planung dez. RWB. als Entscheidungshilfe verwendet. In der DIN 1989-1 wird die Kombinationsmoeglichkeit von Nutzung und Versickerung als Planungsvariante vorgeschlagen (Abb. 4-1). Durch diese Kombination mit Versickerungsrigole (Nr. 13) werden die Überschüsse des Regenwassers vom Speicher (Nr. 3) in die Grundwasser versickert.

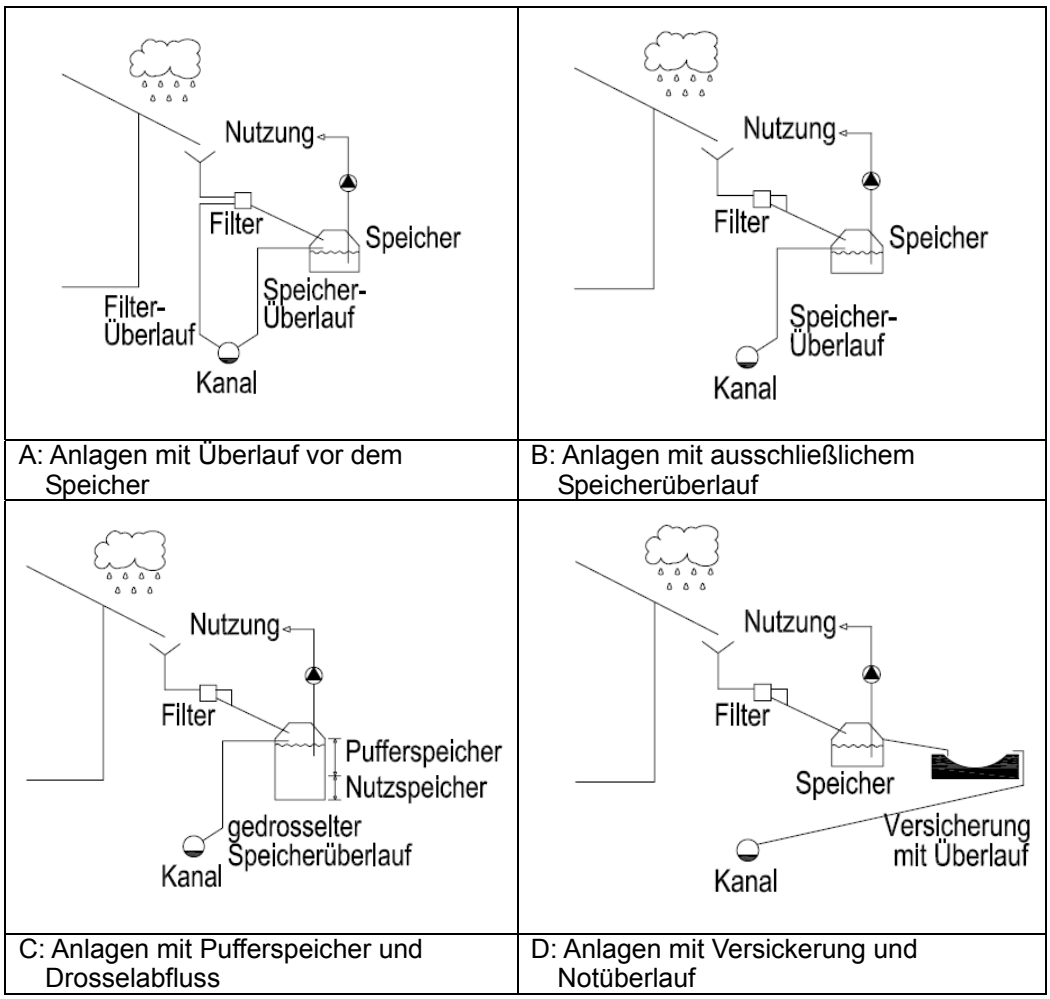


Legende

1 Dachrinne/Fallrohr	9 freier Auslauf Typ AA oder TypAB nach DIN EN 1717
2 Filter	10 Betriebswasserleitung
3 Regenwasserspeicher	11 Entnahmestellen
4 beruhigter Zulauf	12 Trinkwasserleitung
5 Überlauf mit Geruchverschluss	13 Versickerungsrigole
6 Wasserstanderfassung	14 Kanalisation
7 Entnahmeleitung	15 Rückstauebene
8 Regenwasserzentrale	

Abb. 4-1 Kombination von Regenwassernutzung und -versickerung (Quelle: DIN 1989-1)

Durch die Vielzahl der verschiedenen Sammelvorrichtungen, Speicher, Drosselabläufe, und Pumpenanschlüsse, in Verbindung mit der unterschiedlichen Anordnung von Überläufen, ergeben sich vielfältige Konstruktionsmöglichkeiten, die durch ihr jeweiliges Fließschema charakterisiert sind. Die gedrosselte Ableitung von Überschusswasser in ein Kanalnetz oder die mögliche Versickerung des Überlaufs sind weitere hydraulische Verfahrensmerkmale. Jede mögliche Kombination hat eigene hydraulische Auswirkungen, die je nach Kanalsystem (Misch- oder Trennkanalisation) sehr unterschiedlich sein können. Die folgenden Abbildungen zeigen eine systematische Gliederung der unterschiedlichen Bauarten, entsprechend ihrer hydraulischen Wirkung auf die Stadtentwässerung(Herrmann und Schmida,1996-2).



A: Anlagen mit Überlauf vor dem Speicher	B: Anlagen mit ausschließlichem Speicherüberlauf
C: Anlagen mit Pufferspeicher und Drosselabfluss	D: Anlagen mit Versickerung und Notüberlauf

Abb. 4-2 Systematische Kombination der unterschiedlichen Bauarten dezentraler Regenwasserbewirtschaftung (Herrmann und Schmida,1996(2))

Dez. RWB-Maßnahmen können hintereinander je nach gewünschtem Funktionsschema kombiniert werden. Im Folgenden Fließdiagramm (Abb. 4-3) ist eine Kombinationsvariante aus Vorbehandlung, Nutzung, Retention und Niederschlagsversickerung dargestellt.

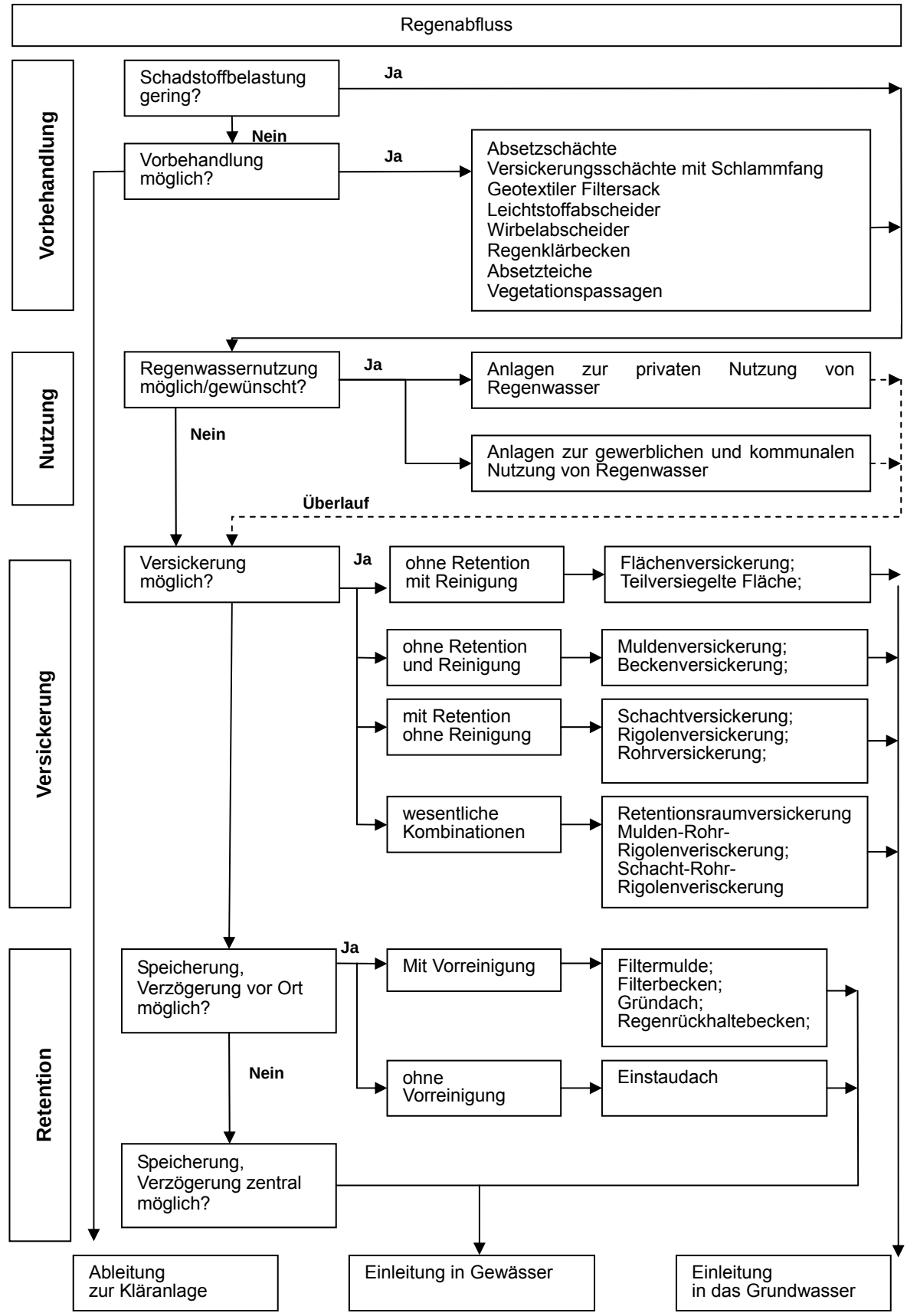


Abb. 4-3 Strukturdiagramm für Planung der RWB(Geiger und Dreiseitl, 2001)

4.2. Entscheidungshilfe für die Anlagendimensionierung

Zur Berechnung der optimalen Speichergröße für die Regenwassernutzung finden sich in der Literatur und kommerziellen Software.

Zunächst benötigt man als Grundgrößen den zu erwartenden Regenertrag sowie den durchschnittlichen Regenwasserbedarf. Der Anteil am angelieferten Trinkwasser, den man durch Regenwasser ersetzen kann, hängt in erster Linie von der Speichergröße ab. Da das Verhältnis von Trinkwassereinsparung zu Anlagekosten je nach der Niederschlagsverteilung extrem ungünstig sein kann, wählt man den Speicher normalerweise niemals so groß, dass er auch in trockenen Perioden ohne Trinkwassernachspeisung auskommen kann, abgesehen von seiner Retentionsfunktion. Aus der Dachfläche mit entsprechendem Abflussbeiwert und der örtlichen und jährlichen Niederschlagsmenge ergibt sich der Regenertrag (Liter/Jahr). Der tägliche Bedarf summiert sich über das Jahr zum jährlichen Regenwasserbedarf. Solange der Regenwasserbedarf den Regenertrag nicht um mehr als 20% über- oder unterschreitet, empfiehlt sich eine Speichergröße, die etwa 5% des jährlichen Regenertrages entspricht (Bastian, 1999).

Eine andere Methode berücksichtigt die Größe der Dachfläche, den Tagesbedarf an Regenwasser und die in Deutschland übliche Frequenz stärkerer Niederschläge. Nach den langfristigen Wetterbeobachtungen sind etwa alle 2-3 Wochen stärkere Niederschläge mit einer Regenmenge von ca. 20 bis 30 Liter/m^2 zu verzeichnen. Empfehlenswert ist bei dieser Konstellation eine Speicherkapazität, die dieser Ertragsmenge entspricht, um bei einem entsprechenden Tagesbedarf, knapp 14 trockene Tage überbrücken zu können (Bastian, 1999)

Für die Bemessung der Vorratsspeicher kann sich die entsprechende Speichergröße aus dem eineinhalbfachen Monatsbedarf ergeben (König, 1996).

$$\frac{jaehrlicher\ Ertrag}{12} \times 1{,}5\ (Monatsfaktor) \qquad \text{(Gl. 4-1)}$$

Der hier angegebene Monatsfaktor 1,5 ist ein deutscher Erfahrungswert, der den koreanischen Bedingungen noch angepasst werden müsste.

Die DIN 1989-1 sieht für die Speicherauslegung die folgenden Faktoren vor:

$$E_R = A_A \times e_b \times h_N \times \eta \qquad \text{(Gl. 4-2)}$$

E_R : Regenwasserertrag [Liter/a]

A_A : Auffangfläche [m^2]

e_b : Ertragsbeiwert (z.B. Flachdach bekiest 0,6; eine Tabelle mit Ertragsbeiwerten für andere Beschaffenheiten findet sich in der DIN 1989-1) [ ]

h_N : Niederschlagshöhe [mm]

η : der hydraulische Filterwirkungsgrad [ ]

Die theoretische und jährlich speicherbare Regenwassermenge ist nach Gl. (4-2) zu berechnen. In Tab. 4-1 stellt sich der personenbezogene Tagesbedarf und spezifischer Jahresbedarf für die Ermittlung des Regenwasserbedarfs nach DIN 1989-1. Diese Angaben wurden bei der Berechnung des Betriebswasserbedarfs eingenommen.

Tab. 4-1 Ermittlung des jährlichen Betriebswasserbedarfs nach (DIN 1989-1)

Verbraucher		Personenbezogener Tagesbedarf	Spezifischer Jahresbedarf
Toiletten im Haushalt *		24 l / (Person×Tag)	-
Toiletten im Bürobereich *		12 l / (Person×Tag)	-
Toiletten in Schulen *		6 l / (Person×Tag)	-
Gartenbewässerung je 1 m² Nutzgarten, Grünanlagen		-	60 l /m²
Bewässerungs- oder Beregnungsmengen während der Vegetationszeit von April bis September			
Bei Sportanlagen	Gesamtmenge für 6 Monate	-	200 l /m²
Für Grünland bei leichtem Boden bei schwerem Boden	Gesamtmenge für 6 Monate für 6 Monate	 - -	 100 l/m² bis 200 l/m² 80 l/m² bis 150 l/m²

* Bei 6 Liter Wasserspartoilete

Sollten Waschmaschinen angeschlossen werden, würde sich der personenbezogene Tagesbedarf um ca. 10 Liter erhöhen (DIN 1989-1).
Der Betriebswasserbedarf muss mit dem jährlichen Regenwasserertrag verglichen werden. Der dabei ermittelte Wert wird in die Bemessung des Nutzvolumens aufgenommen. Als ausreichendes Nutzvolumen werden dann 6% von diesem ermittelten, kleineren Wert angesetzt.

$$V_n = \text{Minimum von } (BW_a \text{ oder } E_R) \times 0{,}06$$

V_n : Nutzvolumen [Liter]
BW_a : Betriebswasserjahresbedarf [Liter /a]
E_R : Regenwasserertrag [Liter /a]

Für die Dimensionierung von Versickerungsanlagen wird in der Literatur und in gängigen Computerprogrammen, die in der Tab. 4-3 gelistet sind, häufig die DWA A138 (2002) als entsprechendes Regelwerk und Basisverfahren für Bemessung genannt und angewendet. Das Arbeitsblatt beschreibt ein einfaches Bemessungsverfahren auf Grundlage statistischer Niederschlagsdaten, das beim Nachweisverfahren durch

Langzeitsimulation zur Vordimensionierung angewendet werden kann.

Unbedenkliche Niederschlagsabflüsse können ohne Vorbehandlung in die ungesättigte Zone versickert werden. Dennoch sind diese Abflüsse nicht frei von Belastungen. Niederschlagsabflüsse mit tolerierbarer Belastung können nach geeigneter Vorbehandlung oder unter Ausnutzung der Reinigungsprozesse in der Versickerungsanlage versickert werden. Die oberirdische Versickerung durch einen bewachsenen Boden kann je nach Beschaffenheit der entsprechenden Fläche und der Aufenthaltszeit im Sickerraum als Reinigungsschritt ausreichen. Nicht tolerierbare Niederschlagsabflüsse sollten in das Kanalnetz eingeleitet oder nur nach einer geeigneten Vorbehandlung versickert werden (DWA A138, 2002).

Die Regenwasserabflüsse von befestigten Flächen werden hinsichtlich ihrer Stoffkonzentration und der möglichen Grundwasserbeeinflussung bei der gezielten Regenwasserversickerung in drei Kategorien eingeteilt (Tab. 4-2). In Tabelle 4-2 wird eine Zuordnung zwischen den Abflussflächen und der zu erwartenden Belastung entsprechend den Kategorien unbedenklich, tolerierbar und nicht tolerierbar vorgenommen. Ihr liegen die bislang veröffentlichten Messergebnisse zu Stoffkonzentrationen in Niederschlagsabflüssen und im Grundwasser zugrunde (DWA A138, 2002).

Eine Bewertung der erforderlichen Regenwasserbehandlungsmaßnahme steht in Anlehnung an DWA-M 153 (02/2000) zur Verfügung. In diesem Merkblatt wird die erforderliche Regenwasserbehandlung zur Bemessung einer Versickerung oder Rückhaltung durchgeführt. Im Hinbrik auf qualitative und hydraulische Empfindlichkeit der Gewässer ist eine grobe Einstufung als Punktezahl beschrieben. Sie gilt nur im Rahmen des Merkblattes und ersetzt andere naturwissenschaftliche Typisierungen nicht (DWA-M 153).

Tab. 4-2 Versickerung der Niederschlagsabflüsse unter Berücksichtigung der abflussliefernden Flächen außerhalb von Wasserschutzgebieten (DWA A138, 2002)

Fläche	Gehalt an Belastungstoffen	Qualitative Bewertung	A_U: A_S <= 5 in der Regel breitflächige Versickerung	5 < A_U : A_S <= 15 in der Regel dezentrale Flächen- und Muldenversickerung, Mulden-Rigolen Elemente	A_U: A_S <= 5 in der Regel zentrale Mulden- und Beckenversickerung	Rigolen und Rohr-Rigolenelement	Versickerungsschacht
Gründächer, Wiesen und Kulturland mit möglichem Regenabfluss in das Entwässerungssystem	**Weniger** → **Größer**	unbedenklich	+	+	+	+	+
Dachflächen ohne unbeschichtete Metalle (Kupfer,Zink und Blei); Terrassenflächen in Wohngebieten und vergleichbaren Gewerbegebieten			+	+	+	+	(+)
Dachflächen mit üblichen Anteilen aus unbeschichteten Metallen (Kupfer, Zink und Blei)		tolerierbar	+	+	+	(+)	(+)
Rad- und Gehwege in Wohngebieten: Rad- und Gehwege außerhalb des Spritz- und Sprühfahnenbereiches von Straßen; verkehrsberuhigte Bereiche			+	+	(+)	(–)	(–)
Hofflächen und Pkw Parkpältze ohne häufigen Fahrzeugwechsel sowie wenig befahrene Verkehrsflächen (bis DTV 300 Kfz) in Wohngebieten und vergleichbaren Gewerbegebieten			+	+	(+)	(–)	–
Straßen mit DTV 300 – 5.000 Kfz, z.B.: Anlieger-, Erschließungs-, Kreisstraßen			+	+	(+)	(–)	–
Start-, Lande- und Rollbahnen von Flugplätzen, Rollabahnen von Flughäfen 1)			+	+	(+)	(–)	–
Dachflächen in Gewerbe- und Industriegebieten mit signifikanter Luftverschmutzung			+	+	(+)	(–)	–
Straßen mit DTV 5000- 15000 Kfz, z.B.: Hauptverkehrsstraßen; Start- und Landebahnen von Flughäfen 1)			+	+	(+)	–	–
Pkw-Parkplätze mit häufigem Fahrzeugwechsel, z.B.: von Einkaufszentren			+	(+)	(+)	–	–
Dachflächen mit unbeschichteten Eindeckungen aus Kupfer ,Zink und Blei, z.B.: Durch Landwirtschaft, Fuhrunternehmen, Reiterhöfe, Märkte			+	(+)	(+)	–	–
Straßen mit DTV über 15.000 Kfz, z.B.: Hauptverkehrsstraßen von überregionaler Bedeutung, Autobahnen			+	(+)	(+)	–	–
Hofflächen und Straßen in Gewerbe- und Industriegebieten mit signifikanter Luftverschmutzung		nicht tolerierbar	(–)	(–)	(–)	–	–
Sonderflächen, z.B. Lkw Park- und Abstellflächen: Flugzeugpositionsflächen von Flughäfen			–	–	–	–	–

4.3. Software in Deutschland

Hier wird ein Überblick über die am deutschen Markt verfügbaren und gebräuchlichen Simulationsmodelle für diesen thematischen Bereich in der Tabelle 4-3 gegeben.

In den Softwareanwendungen MURISIM und R-Win steht die Langzeitsimulation zum Nachweis der Leistungsfähigkeit von Entwässerungsanlagen sowie für die Erstellung von Wasserbilanzen zur Verfügung. Weiterhin kann per Einzelereignissimulation das Systemverhalten im Detail, mittels Ganglinien und Ereignisbilanz überprüft werden. Die Bearbeitungsebene reicht von der Grundstücksentwässerung bis hin zu großen, komplex strukturierten Einzugsgebieten.

Es gibt weiterhin das regional orientierte Entscheidungshilfesystem „Das Bewirtschaftungsinformationssystem Regenwasser – BIS/RW “, mit GIS-Unterstützung für die Emscherregion. Dieses System ist als ein Instrument entwickelt worden, das die Mitglieder der Emschergenossenschaft bei der Ermittlung möglicher Maßnahmen zur naturnahen RWB unterstützen soll. Es dient dazu, mögliche Abkopplungsmaßnahmen zu identifizieren und einer ersten Bewertung zu unterziehen. Das BIS/RW wurde als internetbasiertes GIS-Portal realisiert (http://www.ecd.emprise.de/wps/wcm/-connect/ecd/ecd/informationen/projekte/projekte-nach-branchen/umwelt/).

Tab. 4-3 Software für die Planung dezentraler RWB

Programm /Hersteller	Datengrundlage für die Berechnung	Simulationsgrundlage/-elemente	Ergebnisse und Ergebnis-darstellung
Rain-Optimo(1) Futura Software GmbH/ Wagner & Co.	Tägliche Niederschlagsdaten (verschiedene regionale Niederschlagsdateien) und Verbrauchswerte	Vorgegebene Verbrauchswerte für unterschiedliche Objekttypen (Mehrfamilienhäuser, Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Gewerbebetriebe etc.) Versickerungsanlagen nach DWA-A 138	Tankdimensionierung;Kostenkalkulation; Pumpenauslegung; Versickerungsberechnung, Zeitlicher Verfügbarkeitsgrad, Nutzungsgrad, Trinkwassereinsparung, Anteil der substituierten Wassermenge
Rainplaner(2) Feriani Software-entwicklung GmbH	Tägliche Niederschlagswerte für die Zisternenbemessung Reinholdsche Daten, Starkregenreihen Starkniederschlags-tabellen für die Versickerungs- und Rückhaltungsbemessung	Versickerungsanlagen nach DWA-A 138 Speicher und Pumpe nach der DIN 1989 - 1 (04/2002) sowie der DIN1988-5 Regenwasserbehand-lung in Anlehnung an ATV-DVWK-M 153 (02/2000)	Dimensionierung des Zisternen-\volumens, Versickerungssysteme, Rückhaltesysteme, Pumpanlage, Überlaufhäufigkeit, Nutzungsgrad, Verfügbarkeit, Trinkwassereinsparung
MURI138(3) Ingenieur-gesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH	Reinholdschen Regenreihen Starkregenstatistik	Bemessung nach dem neuen Arbeitsblatt 138 der ATV-DVWK; Zisternen;Flächen-versickerung; Mulden-Rigolen-Elemente;	Vernetzung von Systemelementen integrierte Starkregen-statistik Integrierte Massenermittlung zur

		INNODRAIN(R); Rigolen; Schachtversickerung;	Kostenschätzung
ATV-A138.XLS[4] Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH	Importschnittstelle für Niederschlagsdatensätze aus KOSTRA-DWD 2000	Bemessung nach dem neuen Arbeitsblatt 138 der ATV-DVWK	Bei der Bearbeitung und Ausgabe steht der gesamte Funktionsumfang des Programms Microsoft EXCEL zur Verfügung.
MURISIM[5] Ingenieu-gesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH	Reinholdsche Regenreihen, Starkregenstatistik nach DWD KOSTRA Daten Massendatenreihe mit 5 min. Intervall für Langzeit-simulation	Integrierte Vorbemessung nach A138 und A117 Langzeitsimulation mit Oberflächenabfluss-modell, beliebige Ver-knüpfung der System-elemente.	Dimensionierung und Nachweisverfahren, Integrierte Massenermittlung zur Kostenschätzung, intuitive grafische Benutzerführung mit Einbindung von GIS-, CAD- und Rasterdaten
R-Win[6] IfS: Ingenieur-gesellschaft für Stadt-hydrologie mbH	Starkregenstatistik nach DWD KOSTRA Daten, Massendatenreihe mit 5 min. Intervall für Langzeitsimulation	Langzeitsimulation mit Oberflächenabfluss-modell, Regenbecken,Kanal-stauraum,Versickerung-sanlagen, Mulden-Rigolen-Systeme, Bodenfilter,Teich, Regenwassernutzungs-anlage, Naturdächer	Dimensionierung von Versickerungsanlagen, Wasserbilanzen, statistische Auswertung, Ereignisliste und Gang-linien, Bericht, animierter Niederschlagsabfluß-Prozess

(1) http://www.solarplanet.de/PDFs/RainOptimo.pdf

(2) http://www.rainplaner.de/ (3) und (5) http://www.sieker.de/

(4) http://www.itwh.de/S_atvxls.htm

(6) http://www.ifs-hannover.de/software/erwin/erwin.htm

4.4. Einordnung des Entscheidungshilfesystems vor dem Hintergrund anderer vorhandenen Programme

Ein für die Standortsbedingungen Koreas entwickeltes Entscheidungshilfesystem muss spezifische Leistungen erbringen und über entsprechende Funktionen verfügen. In der Tab. 4-3 sind weitere Details zu den kommenden Ausführungen aufgeführt.

Bei der direkten Anwendung vorhandener ausländischer Programme in Korea ist in der Praxis, abgesehen von der Bedienungssprache, das unterschiedliche Format von Eingangsdaten wie Niederschlagswerten und anderer meteorologischer Daten ein Hindernis. Beispielsweise ist für die Bemessung einer Versickerungsanlage mit den Programmen MURI 138 und ATV-A138.XLS die Umwandlung der statistischen Niederschlagsdaten notwendig. Wegen der unebenen Niederschlagsverteilung im Jahr und der sehr hohen Niederschlagsintensitäten wird die Regenwassernutzung ohne den Verbund mit Versickerung und Retention im Bezug auf ihre Wirtschaftlichkeit in Korea kontrovers diskutiert. Daher sind z.B. Rain-Optimo und Rainplaner, welche die

Dimensionierung der Zisternen mit täglichen Niederschlagsdaten ermöglichen, für koreanische Bedingungen nicht gut geeignet.

MURISIM oder R-Win gehören zu den kompetenten Simulationsmodellen für die dezentrale RWB in Deutschland. Sie stellen Funktionen für die Dimensionierung von Versickerungsanlagen und Nutzungsanlagen zur Verfügung. Mit ihrer Hilfe können auch Langzeitsimulationen mit einem Oberflächenabflussmodell für Nachweisverfahren durchgeführt werden. Für diese Langzeitsimulationen werden Massendatenreihen mit 5-Minuten-Intervallen verwendet, die in Korea noch nicht vorhanden sind. In Korea stehen nur stündliche Niederschlagswerte zur Verfügung. Für Simulationen mit diesen beiden Programmen ist die Funktion einer Notpumpe für die Entleerung der Zisternen bei Hochwasseralarm, die wegen der Taifune und der Dauerregen in Korea wichtige Elemente der dezentralen RWB sind, nicht integriert.

Die Bedienungskomplexität und die umfangreiche Auswahlmöglichkeit der Systembausteine in diesen Programmen können bei Anwendern zu uneffizienter Arbeit bei der Dimensionierung der Anlagen führen. Dieses gilt insbesondere für Entwässerungssysteme privater Grundstücke und Gebäudekomplexe, also für Gegebenheiten, bei denen die dezentrale RWB – im Vergleich zur zentralen Stadtentwässerung - von besonderer Bedeutung ist.

5. Aufarbeitung und Bereitstellung der Eingangsdaten sowie Berechnungsverfahren für die Simulationen

Hier werden die Grundlagen der Wasserhaushaltskomponenten dargestellt, die in dem hier entwickelten Programm RainCity als Basis der Berechnungen verwendet werden. Es handelt sich um die Eingabedaten, Niederschlag und meteorologische Daten sowie um die berechneten Werte für Evapotranspiration, Bodenwasserhaushalt und Versickerung.

5.1. Niederschlag und meteorologische Daten

In diesem Kapitel werden die verwendeten Niederschlagsdaten und meteorologischen Daten beschrieben. Dazu werden auch entsprechend entwickelte Verwaltungsfenster dargestellt.

5.1.1. Niederschlagsdaten

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die stündlichen Niederschlagsdaten der KMA(Korea Meteorological Administration) als Basis genommen. Nach der Verarbeitung wurde im RainCity verwendet. Im linken Teil aus einem Ausschnitt in der Abb. 5-1 befinden sich die Information über den Rohdatensatz (z.B. Seoul, Ortsnummer: 108) und das Datum der Datenaufnahme (01.07.1997). Die Reihe der Zahlen im rechten Teil bezeichnet die stündliche Niederschlagshöhe in 0,1 mm Einheit.

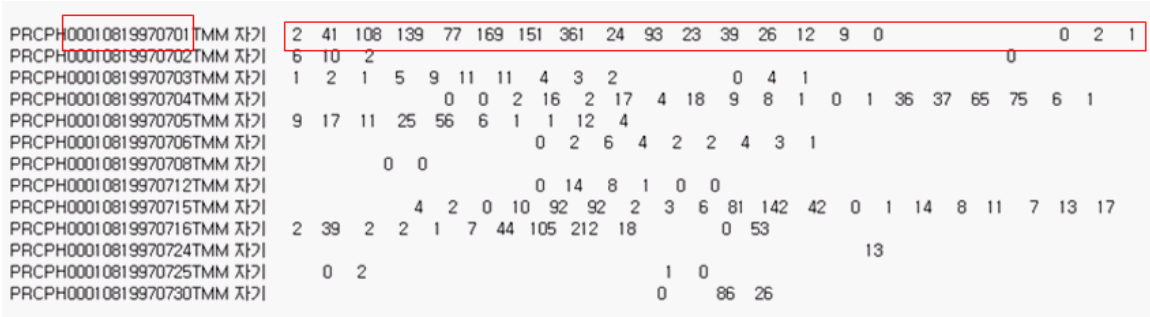


Abb. 5-1 Ausschnitt aus der Niederschlagsdatenreihe vom KMA

Aus diesen Original-Daten wurde eine Datenbank erstellt, die in einem weiteren Programmfenster eine benutzerfreundliche Darstellung der Niederschlagsdatenreihen nach Stadt und Jahresgang ermöglicht. Die aufgerufenen Daten können hier nach Monats-, Tages- und Stundensumme graphisch dargestellt werden. In dem Fenster „Niederschlagsverteilung“ werden die verwendeten Niederschlagsdaten und ihre zeitliche Verteilung in Stunden-, Tages- und Monatsintervallen angezeigt (Abb. 5-2).

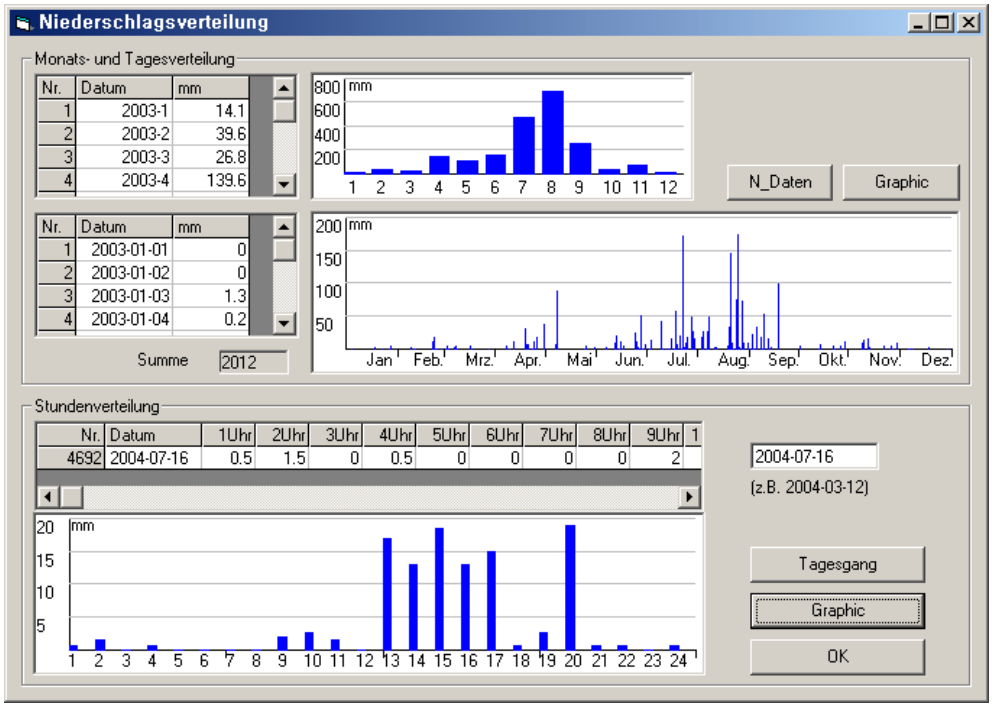


Abb. 5-2 Fenster „Niederschlagsverteilung“ zum Überblick über die zeitliche Verteilung der Niederschläge

5.1.2. Meteorologische Daten

Die verwendeten meteorologischen Daten setzten sich aus zahlreichen gemessenen Klimawerten in Tagesintervalle zusammen. Die Inhalte und Einheiten dieser Daten in der Abb.5-3 sind in der Tab. 5-1 beschrieben.

```
      K01    K020304   K05   K06 K07 K08 K09 K10 K11 K12 K13 K14 K15K16 K17 K18    K19 K20
METED 000108 19970701  220   234 201       5   3  20  25  50 915 88 206 100 10020  149   0
METED 000108 19970702  248   289 221      21  17  16  25  28 861 67 223  91 10061  802  23
METED 000108 19970703  248   265 238      21  14  45  23  73 890 82 228  85 10070  383   0
METED 000108 19970704  235   252 221       5   3  51  20  65 905 82 218  99 10026   84   0
METED 000108 19970705  211   239 193      13   8  11  32  35 841 67 183  89 10023  775  16
METED 000108 19970706  197   234 183       7   3  10  32  40 875 71 176  68 10011  458  18
METED 000108 19970707  225   272 181      42  25  15  29  43 793 59 186  54 10050 1734  74
```

Abb. 5-3 Ausschnitt der originalen meteorologischen Datenreihe vom KMA

Tab. 5-1 Inhalte und Einheiten meteorologischer Daten (KMA)

Kolumne	Inhalt	Einheit	Kolumne	Inhalt	Einheit
K1	Ort-Code	6 stellig	K11	Mittlere Windgeschwindigkeit	0,1 m/sec
K2	Jahr	4 stellig	K12	Max. Windrichtung	36 Richtungen
K3	Monat	2 stellig	K13	Max. Windgeschwindigkeit	0,1 m/sec
K4	Tag	2 stellig	K14	Mittlere Luftfeuchte	0,1%
K5	Mittlere Lufttemperatur	0,1℃	K15	Min. Luftfeuchte	0,1%
K6	Maximale Lufttemperatur	0,1℃	K16	Mittlere Taubildungstemperatur	0,1℃
K7	Minimale Lufttemperatur	0,1℃	K17	Wolkengrad	0,1
K8	Max. Schneedecke	0,1 cm	K18	Mittlere Luftdruck	0,1 mb
K9	Verdunstungsmenge von kleinem Messgerät	0,1 cm	K19	Einstrahlung	0,01 mj/m^2
K10	Verdunstungsmenge von großem Messgerät	0,1 cm	K20	Sonnenscheindauer	0,1 h

5.2. Evapotranspiration (ET)

Evaporation(E_{Bd} und E_w) ist die Verdunstung von der unbewachsenen Erdoberfläche(E_{Bd}), des auf Pflanzenoberflächen zurückgehaltenen Niederschlags(E_{Bd}) und von freien Wasserflächen (E_w). Dabei sind biotische Vorgänge ausgeschlossen. Transpiration(E_{Pfl}) ist die Verdunstung von Wasser über die Spaltöffnungen auf Pflanzenoberflächen aufgrund biotischer Prozesse (DIN 4049, 1996).

$$ET = E_w + E_{Bd} + E_{Pfl}$$

In die Berechnungsalgorithmen des erstellten Computerprogramms wurden verschiedene Ansätze zur Berücksichtigung der Evapotranspiration integriert. Diese Ansätze werden im Folgenden dargestellt.

5.2.1. Evaporation von Wasseroberflächen (E_w)

Für die Simulation der Wasserbilanz urbaner Gewässer wurde ein Kombinations-verfahren programmiert. Durch die Verbindung der Energiehaushaltsgleichung und der Dalton-Gleichung über das Bowen-Verhältnis leitete Penman die folgende Gleichung für die Verdunstung in mm/d einer Wasserfläche ohne Wärmespeicherung und Energiezuführung ab (DVWK, 1996).

$$E_w = \frac{s \times Rn/L + \gamma \times f(v) \times (e_s(T) - e)}{s + \gamma} \qquad \text{(Gl. 5-1)}$$

mit:

s:	Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve mit der Temperatur	[hPa/K]
Rn:	Nettostrahlungsenergie (Strahlungsbilanz)	[W/m^2]
L:	Verdampfungswärme des Wassers, Strahlungsäquivalent für die Verdunstung von 1mm/d	[W/m^2/mm]
Rn/L:	Verdunstungsäquivalent der Nettostrahlung	[mm/d]
γ:	Psychrometerkonstante (0,65 hPa/K)	[hPa/K]
es(T):	Sättigungsdampfdruck, abhängig von der Temperatur	[hPa]
e:	Dampfdruck der Luft	[hPa]
f(v):	Windfunktion des Dalton-Terms, z.B. f(v) = 0,136 + 0,105 × v_2 für kleine Wasserflächen (v_2 = Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe)	[ ]

Die Strahlungsbilanz Rn ergibt sich als Differenz zwischen der von der verdunstenden Oberfläche aufgenommenen Globalstrahlung R_G und der effektiven Ausstrahlung Rn_L dieser Fläche(DVWK, 1996).

$$Rn = R_G (1-\alpha) - Rn_L \qquad \text{(Gl. 5-2)}$$

Rn :	Strahlungsbilanz	[W/m^2]
R_G:	Globalstahlung	[W/m^2]
α:	Reflexionskoeffizient oder Albedo der Wasseroberfläche	[ ]
Rn_L:	effektive Abstrahlung von der Oberfläche	[W/m^2]

Wenn keine Daten zur Globalstrahlung verfügbar sind, werden diese Werte auf Grundlage der Sonnenscheindauer geschätzt. In dieser Arbeit wurde die Abschätzung der Globalstrahlung nach der FAO-Methode durchgeführt. Die Größe Rn_L ist die effektive Abstrahlung von der Oberfläche in W/m^2. Sie ergibt sich als Differenz der thermischen Abstrahlung und der Gegenstrahlung von Wolken und Atmosphäre mit langwelliger Strahlungsbilanz.

$$Rn_L = \varepsilon \times \sigma \times (T + 273{,}15)^4 \times (0{,}56 - 0{,}08 \times \sqrt{e}) \times (0{,}1 + 0{,}9 \times S/S_0) \qquad \text{(Gl. 5-3)}$$

ε:	Emissionskoeffizient bei klarem Wasser = 0,97	[ ]
σ:	Stefan-Bolzmann-Konstante = 5,67 × 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}	[Wm^{-2} K^{-4}]
T:	Lufttemperatur, gemessen in einer Höhe von 2 m über Land	[℃]

Dieses Penman-Verfahren wurde als eine Berechungssubroutine in diese Arbeit

aufgenommen. Die folgende Abb. 5-4 zeigt einen weiteren Ausschnitt aus dem erstellten Computerprogramm. Hier ist das „Ew“ Fenster dargestellt, in dem Berechnungen zur Evaporation von der Wasseroberfläche durchgeführt werden.

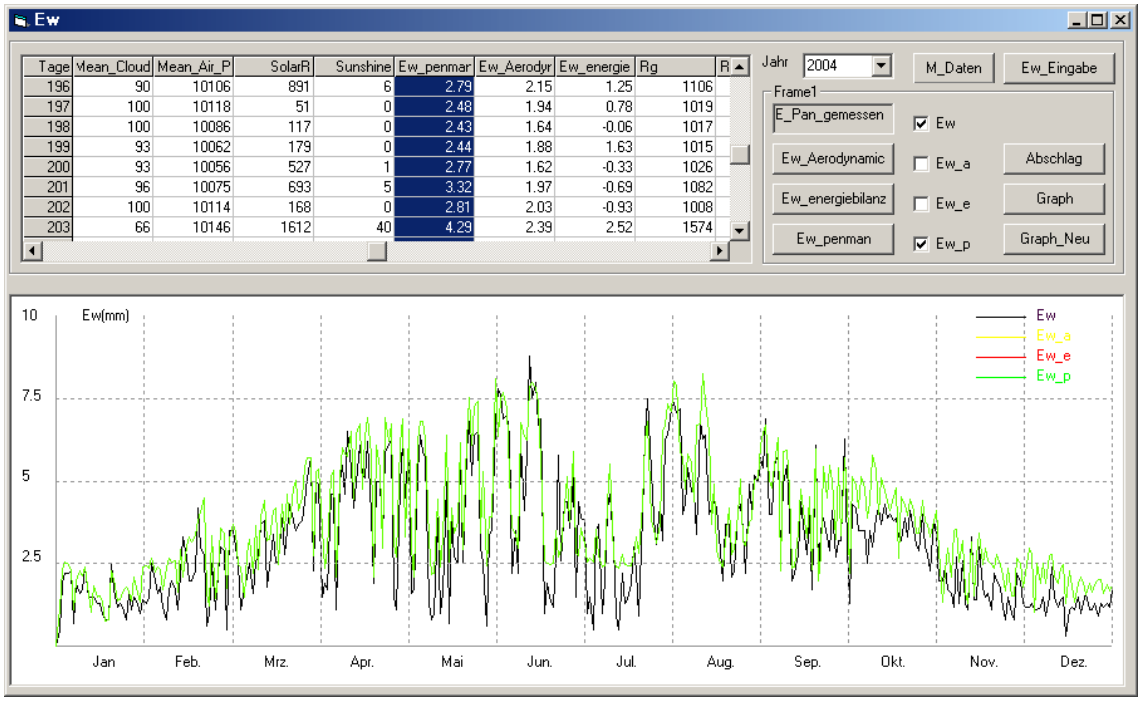


Abb. 5-4 Fenster für die Berechnung der Evaporation von Wasseroberflächen

Im Berechnungsfenster „E_w“ können die Eingangsdaten der KMA, die die meteorologischen Daten und die gemessene Evaporationsmenge enthalten, aufgerufen werden. Mit diesen Daten werden die Simulationen mit 3 verschiedenen Verfahren (aerodynamisches Verfahren, Energiebilanzverfahren und Kombinationsverfahren) zur Berechnung der Evaporation von Wasseroberflächen durchgeführt. Die Simulationsergebnisse können untereinander und mit der gemessenen Evaporationsmenge verglichen werden. Die gemessene Evaporationsmenge im Jahr 2004 in Seoul mit dem Abschlagsfaktor 0,7 von dem Class A Pan von KMA hat nach der Ergebnisdarstellung die beste Übereinstimmung mit dem Ergebnis des Kombinationsverfahrens (Abb. 5-4). Dieser Class A Pan hat die Durchmesser von 120 cm und Höhe von 30cm.
Die hier entwickelten Algorithmen werden bei der Simulation von Wasserbilanzen urbaner Gewässer, als ein Baustein, im Entscheidungshilfesystem eingesetzt.

5.2.2. Potenzielle Evapotranspiration (ETp)

Der aus meteorologischen Daten berechnete Wert ETp ist eine Nährung für die obere Grenze der Verdunstung bewachsener Landflächen. In Zeitabschnitten mit hoher Bodenfeuchte bzw. häufigen Regenfällen ist diese Größe identisch mit der realen

Evapotranspiration ETa. Trocknet der Boden unter einen kritischen Wert aus, so gilt diese Annahme nicht mehr. Der berechnete ETp Wert muss dann über eine Reduktionsfunktion, in Abhängigkeit von der jeweiligen Bodenfeuchte oder über vergrößerte Verdunstungswiderstände in den tatsächlichen ETa Wert umgerechnet werden. (DVWK, 1996).

Grundsätzlich gibt es zwei Ansätze zur Ermittlung des ETp Wertes. Auf der einen Seite sind einfache und empirische Modelle wie von Haude, Thornthwaite, Blaney-Criddle und TURC beschrieben. Auf der anderen Seite stehen komplexe und physikalisch begründete Verfahren (DVWK, 1996). In diesem Kapitel werden diese Verfahren von DVWK (1996) für die Ermittlung des ETp Wertes zusammengefasst und ihre Berücksichtigung im erstellten Baustein des Programms vorgestellt. In der erstellten Subroutine können sie dann, auf der Basis von meteorologischen Daten aus Seoul und Berlin miteinander verglichen werden(Abb. 5-5).

Tab. 5-2 komplexe und physikalisch begründete Verfahren für Berechnung des ETp Wertes. Zusammenfassung nach DVWK (1996)

Verfahren nach Penman (Vereinfachung von WENDLING)

$$E_{PENM} = \frac{s}{s+\gamma} \times \frac{Rn - G}{L} + \frac{\gamma}{s+\gamma} \times f(v) \times (e_s(T) - e) \qquad \text{(Gl. 5-4)}$$

Rn: Strahlungsbilanz [W/m^2]

G: Bodenwärmestrom [W/m^2]

L: spezielle Verdunstungswärme für 1 mm Verdunstungshöhe [W/m^2 /mm]

F(v): von Windgeschwindigkeit v und der Bewuchshöhe abhängige Funktion [ ]

e_s(T) – e: Sättigungsdefizit, abhängig von der Temperatur T und Dampfdruck e [hPa]

S: Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve mit der Temperatur [hPa/K]

γ: Psychrometerkonstante, = 0,65 hPa/K [hPa/K]

$$ETp_{penm} = \frac{s}{s+\gamma} \times E_R + \frac{\gamma}{s+\gamma} \times E_A \qquad \text{(Gl. 5-5)}$$

$$\mathrm{E_R} = \frac{0{,}6 \times R_G}{L}$$

$$EA = 0{,}063 \times (1 + 1{,}08\ v_2) \times (e_s(T) - e) \times SR$$

R_G: Globalstrahlung, Tagessumme [J/cm^2]

L: spezielle Verdunstungswärme für 1 mm Verdunstungshöhe [(J/cm^2)/mm]

SR: Verhältnis der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer zu der bei Tag- und Nachtgleiche (=S_0/12) [ ]

T: Temperatur in, Tagesmittel 2 m Höhe [℃]

V_2: Windgeschwindigkeit Tagesmittel 2 m Höhe [m/s]

e_s(T) – e: Sättigungsdefizit Tagesmittel [hPa]

Verfahren nach MAKKINK

$$ETp_{MAK} = \frac{s}{s+\gamma} \times (c_1 + \frac{R_G}{L} + c_2) \qquad \text{(Gl. 5-6)}$$

Für Europa: $c_1 = 0{,}75$ $c_2 = 0$ (CHOISNEL)

Verfahren nach TURC-WENDLING

$$ETp_{TU-WE} = \frac{s}{s+\gamma} \times (\frac{0{,}71 \times R_G}{L} + 0{,}27 \times f_K) \qquad \text{(Gl. 5-7)}$$

$$ETp_{TU-WE} = \frac{(R_G + 93 \times f_K) \times (T+22)}{150 \times (T+123)} \qquad \text{(Gl. 5-8)}$$

f_K = Küstenfaktor, im Küstenbereich von 50 km Breite als Mittelwert $f_K = 0{,}6$ und sonst $f_K = 1{,}0$

Verfahren nach HARGREAVE

$$ETp_{HAR} = \frac{0{,}0023 \times R_0}{L} (T_{max} - T_{min})^{0{,}5} \times (T + 17{,}8) \qquad \text{(Gl. 5-9)}$$

T_{max} : maximale Temperatur des Tages [℃]
T_{min}: minimale Temperatur des Tages [℃]
T: Tagesmittel der Lufttemperatur [℃]
R_0/L: Verdunstungsäquivalent der extraterrestrischen Strahlung [mm/d]

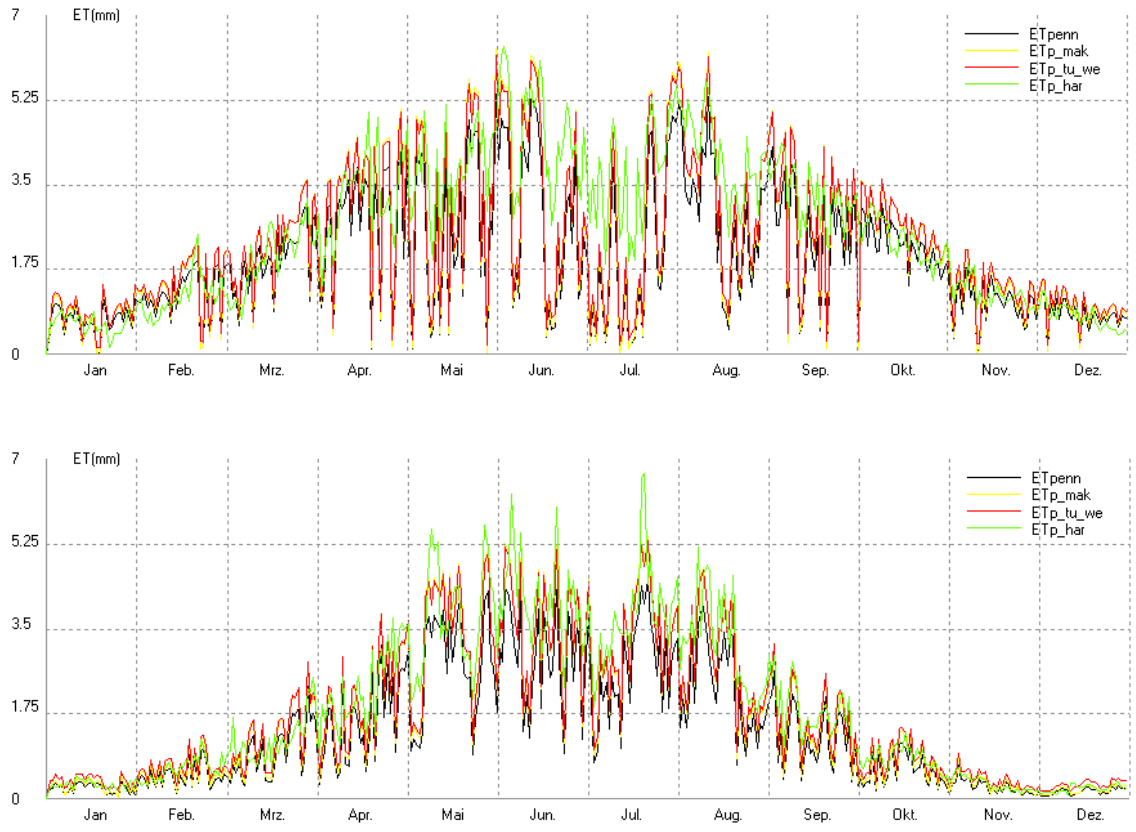


Abb. 5-5 ETp und ETo in Seoul(oben) im Jahr 2004 und Berlin im Jahr 1998

Durch diese Darstellung der Berechnungsergebnisse wurde es gezeigt, dass sich die

programmierte Berechnungsansätze von Gras-Referenzverdunstung-Modell mit Strahlungsbilanz (ETo_Rn), das weltweit verbreitet ist und in diesem Simualtionsmodell gerne verwendet wird, rechnerisch im akzeptierbaren Bereich befinden. Die Auswertung der verglichenen Modelle soll weiter untersucht werden.

5.2.3. Gras-Referenzverdunstung (ETo)

Das Penman-Monteith Modell ist eine Weiterentwicklung des klassischen Penman-Verfahrens. Die reale Evapotranspiration ETa wird hier aus den jeweiligen meteorologischen Bedingungen berechnet. Zusätzlich werden zwei Verdunstungswiderstände eingeführt. Dies ist der von Windgeschwindigkeit, Höhe und Struktur des Pflanzenbestandes abgängige aerodynamische Widerstand r_a und der die Wasserversorgung der Pflanzen kennzeichnende mittlere Stomatawiderstand r_s des Bestandes. Diese Widerstände haben die Einheit s/m, ihr Ansteigen bewirkt eine Verringerung der Verdunstung gegenüber dem potentiellen möglichen Maximalwert (DVWK, 1996).

$$ETa = \frac{1}{L^*} \times \frac{s \times (Rn - G) + \frac{\rho \times c_p}{r_a} \times (e_s(T) - e)}{s + \gamma \times \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \qquad \text{(Gl. 5-10)}$$

Die von Allen, R.G. (1998) als einheitliche Schätzgröße vorgeschlagener Gras-Referenzverdunstung (ETo) gilt z.Z. als internationale Standardgröße zur Verdunstungsermittlung. Die Gras-Referenzverdunstung ETo ist die aus der Penman-Monteith-Beziehung abgeleitete Verdunstungshöhe für eine bezüglich der Boden- und Pflanzenparameter eindeutig definierte Randbedingung, einen Grasbestand von 12 cm Höhe mit einem mittleren Verdunstungswiderstand des Bestandes von 70 s/m, bei dem die Pflanzen noch keinen Wassermangel erleiden. Auf dieser Grundlage lässt sich ETo, überall einheitlich, aus den vorliegenden meteorologischen Daten berechnen.

Bei einem niedrigen Bestand und ausreichender Wasserversorgung durch Niederschläge bzw. aus dem Boden stimmten Referenzwert und gemessene Verdunstungshöhe annähernd überrein. Kleiner als die Gras-Referenzverdunstung ist der Wert jedoch, wenn der Boden unter einen kritischen Wert austrocknet und die Pflanzen ihre Transpiration einschränken müssen (ATV-DVWK, 2002).

Durch Einsetzen der Randbedingungen in die Penman-Monteith-Formel ergibt sich die Gras-Referenzverdunstung für tägliche Verdunstungswerte in mm in folgender Form:

$$ET_0 = \frac{0{,}408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34 u_2)} \qquad \text{(Gl. 5-11)}$$

ETo:	Gras-Referenzverdunstung	[mm /day]
Rn:	Nettostrahlung(Strahlungsbilanz)	[MJ /m^2 /day]
G:	Bodenwärmestrom	[MJ /m^2 /day]
T:	Lufttemperatur 2 m Höhe	[°C]
u_2:	Windgeschwindigkeit, Tagesmittel 2 m Höhe	[m /s]
e_s:	Sättigungsdampfdruck	[kPa]
e_a:	Dampfdruck	[kPa]
e_s - e_a:	Sättigungsdefizit der Luft	[kPa]
Δ:	Steigung der Sättigungsdampfdurckkurve	[kPa /°C]
γ:	Psychrometerkonstante	[kPa /°C]

(Allen, R.G., 1998)

Der Strahlungsbilanz Rn kann aber auch durch den gemessenen Rn Wert ersetzt werden. Die beiden Rechenvorgänge wurden im Fenster „ETp und ETo“ realisiert (Abb. 5-6).

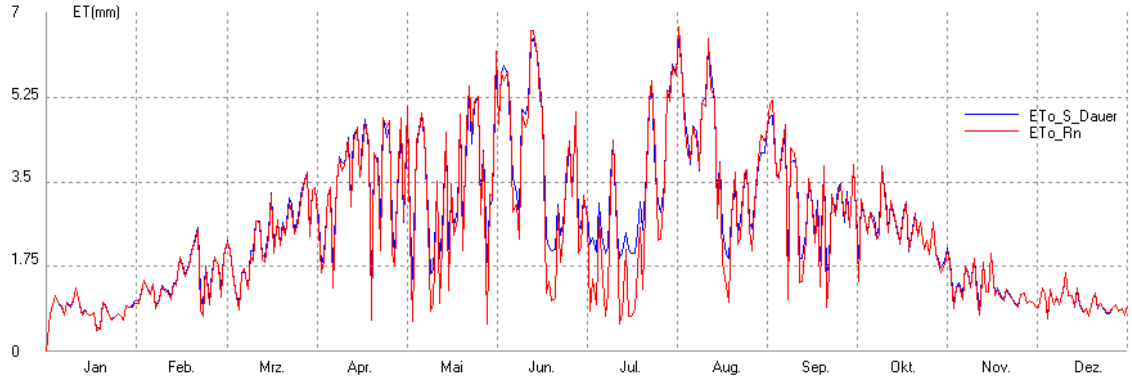


Abb. 5-6 Verläufe der Rechenergebnisse aus der Sonnenscheindauer(ETo-S-Dauer) und aus dem gemessenen Nettostrahlung(ETo-Rn)

Die Verläufe der beiden Rechengänge zeigen eine sehr gute Übereinstimmung. Die Verdunstungshöhe von ETo-S-Dauer ist niedriger als der Wert ETo_Rn(gemessener Strahlungsbilanzwert) in den Sommermonaten. Der Verlauf ist auch ansonsten sehr ähnlich. Diese Berechnungsalgorithmen werden bei der folgenden Simulationskomponente Bodenwasserhaushalt erneut verwendet.

5.3. Bodenwasserhaushalt

Bodenwasser wird über Niederschläge, Grundwasser und in geringem Maße über Kondensation aus der Atmosphäre gebildet und ergänzt. Wird durch Niederschläge

mehr Wasser angeliefert als der Boden aufnehmen kann, so fließt der Überschuss als Oberflächenwasser ab. Das dem Boden durch Niederschläge zugeführte Wasser wird zum Teil in den Poren, gegen die Einwirkung der Schwerkraft, festgehalten und zum anderen als Sickerwasser in tiefere Zonen verlagert. Hierbei wird im Boden bereits vorhandenes Wasser durch das Sickerwasser verdrängt und wird damit selbst zum Sickerwasser (Scheffer und Schachtschabel, 2002).

Die Verdunstung spielt eine wichtige Rolle bei der Änderung des Bodenwassergehaltes und wird selbst vom vorhandenen Bodenwassergehalt reguliert. Die unter den gegebenen meteorologischen Randbedingungen maximal mögliche Verdunstung wird von den Pflanzen nicht erreicht, wenn die Wassernachlieferung im Boden diesen Bedarf nicht decken kann. Obwohl bereits sehr detaillierte Modelle zur Berechnung der aktuellen Verdunstung existieren, die den gehemmten Wasserfluß über ein Widerstandnetz beschreiben, ist es weiterhin sehr schwierig die Größe der relevanten Parameter zu quantifizieren. Eine alternative Lösungsmöglichkeit besteht darin, alle Widerstände zu einem Abminderungsfaktor zusammenzufassen, der direkt als Funktion der verfügbaren Bodenfeuchte oder der aktuellen Bodenwasserspannung dargestellt werden kann (Disse, 1995).

In folgenden wird der vom Wassergehalt im Boden abhängige ETa-Wert beschrieben und zwei Bodenwasserhaushaltsmodelle, die in der Simulation verwendet wurden, dargestellt.

5.3.1. Bodenwasserhaushalt im FAO-Modell

Wenn der Bodenwassergehalt den Wert des RAW (readily available water) unterschreitet, sind die Pflanzen Wasserstress ausgesetzt. In diesem Fall schließen sich die Stomaten, um die Transpirationsmenge zu reduzieren. Die angewandte ETa-Berechnung mit Berücksichtigung der nutzbaren Bodenwassermenge ergibt sich durch die Multiplizierung der Werte ETo, Kc und Ks. Der Wasserstress-Koeffizient Ks verändert sich nach dem FAO Prinzip linear von 0 bis 1 (Allen, R.G., 1998).

$$ET_{c\,adj} = K_s \cdot K_c \cdot ET_o \qquad \text{(Gl. 5-12)}$$

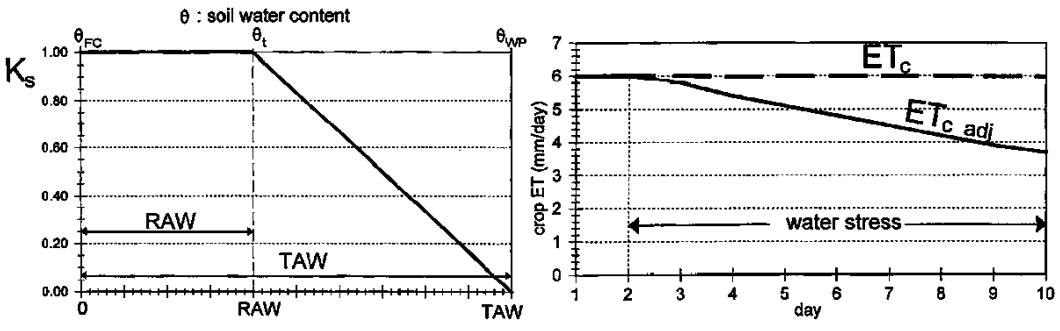


Abb. 5-7 Wasserstress-Koeffizient Ks und reduzierte Verdunstungsmenge nach dem FAO Modell (Allen et al, 1998)

Für Dr > RAW ergibt sich Ks:

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} = \frac{TAW - D_r}{(1-p)TAW} \qquad \text{(Gl. 5-13)}$$

K_s: Dimensionsloser Faktor der Reduzierung von Transpiration in Abhängigkeit von nutzbarer Feldkapazität [0 - 1], Wenn der Defizit im Wurzelraum kleiner als RAW ist, dann ist K_s = 1. [-]

D_r: Defizit des Bodenwassers im Wurzelraum [mm]

TAW: nutzbare Feldkapazität in Wurzelraum [mm]

p: Anteil der nutzbaren Feldkapazität, die Planzen ohne Wassermangelstress das Bodenwasser entziehen können. [-].

$$TAW = 1000(\Theta_{FC} - \Theta_{WP})\, Z_r \qquad \text{(Gl. 5-14)}$$

TAW: nutzbare Feldkapazität in Wurzelraum [mm]

Θ_{FC}: Bodenwassergehalt in Feldkapazität [m^3/m^3]

Θ_{WP}: Bodenwassergehalt in Welkepunkt [m^3/m^3]

Z_r: Tiefe der Wurzelung [m]

In der Abb. 5-8 wird der Bodenwasserhaushalt nach FAO Modell dargestellt. Dieses Modell kann durch den Berechnungsansatz in Gl. (5-15) ausgedrückt werden.

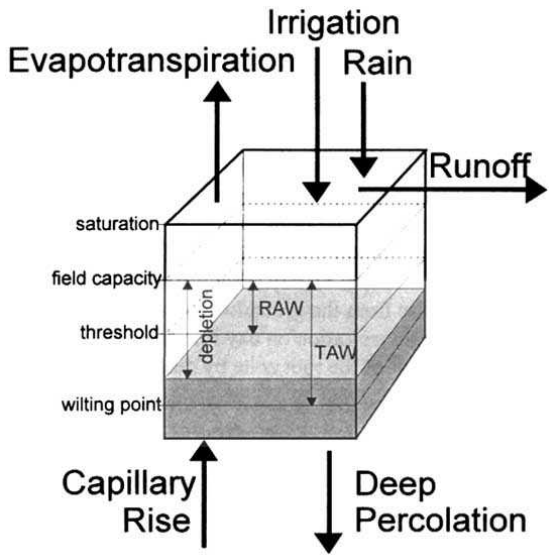


Abb. 5-8 Schema des Bodenwasserhaushaltes nach FAO(Allen et al, 1998)

$$D_{r,i} = D_{r,\,i-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i \qquad \text{(Gl. 5-15)}$$

$D_{r,i}$:	Defizit im Wurzelraum am Ende des Tages i	[mm]
$D_{r,i-1}$:	Defizit im Wurzelraum am Ende des vorherigen Tages i	[mm]
P_i:	Niederschlag am Tag i	[mm]
RO_i:	Oberflächenabfluss am Tag i	[mm]
I_i:	Bewässerungstiefe, die in den Boden infiltriert	[mm]
CR_i:	Kapillaraufstieg vom Grundwasserspiegel am Tag i	[-]
$ET_{c,i}$:	Crop Evapotranspiration am Tag i	[mm]
DP_i:	Perkolationsmenge vom Wurzelraum am Tag i	[mm]

In der Gl. (5-15) wird die Größe $ET_{c,I}$ durch den Wert $ET_{c\ adj}$ der Gl.(5-12) ersetzt. Diese Gleichungen wurden in die Algorithmen integriert und bei der Programmierung berücksichtigt.

5.3.2. Bodenwasserhaushalt im ATV-DVWK-Bodenwasserhaushaltsmodell

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell im Merkblatt ATV-DVWK-M 504.

Die maximale Verdunstung ETmax von landwirtschaftlichen Beständen und von Grünland kann mit der Gras-Referenzverdunstung ETo bestimmt werden. Unter Nutzung täglicher Verdunstungswerte ETa und wägbarer Lysimeter kann bei der ausreichenden Wasserverfügbarkeit ETa ≈ ETmax angenommen werden.

$$f = \frac{ET\max}{ET_0} \qquad \text{(Gl. 5-16)}$$

Bei Untersuchungen von Glugla u.a. (2002) wurden Mittelwerte des Parameters $\overline{f}$ für verschiedene Flächen ermittelt. Die zu ermittelnde tatsächliche Verdunstungshöhe ETa einer Fläche mit vorgegebenem Bewuchs ist durch den Wert der maximalen Verdunstung ETmax limitiert. Bei einem ausreichenden Wasserangebot aus Niederschlägen bzw. Bodenfeuchten im Bereich der Feldkapazität Θ_{FK} oder nur wenig darunter, gilt für jede Landnutzungsform:

$$ETa = ETmax. \qquad \text{(Gl. 5-17)}$$

Ist das Wasserangebot nicht ausreichend, dann ist die tatsächliche Verdunstung reduziert und der Quotient kleiner als 1. Für die Abhängigkeit des Relativwertes ETa/ETmax vom Bodenfeuchtegehalt zwischen den Grenzwerten Θ_{PWP} und Θ_{FK} wurden zahlreiche Ansätze entwickelt. Nach Untersuchungen von Glugla u.a. (2002) gibt die Beziehung im Bodenwasserhaushaltsmodell von Disse (1995) diese Abhängigkeit am besten wieder. Nach diesem Modell lautet:

$$0 \leq ETa/ETmax \leq 1 \qquad \text{(Gl. 5-18)}$$

In diesem Modell wurde die Integration der Interzeptionsverdunstung stark berücksichtigt. Die Interzeptionshöhe I ist abhängig vom Freilandniederschlag P_{korr} und der Interzeptionskapazität I_{max} der Vegetationsoberfläche. Mit dem Tagesniederschlag P_{grenz} wird der Maximalwert der Interzeptionshöhe, d.h. I_{max} erreicht. Bei wachsendem I_{max} Wert steigt auch der P_{grenz} Wert. Für diesen Zusammenhang wurden folgende Beziehungen von Glugla u.a. (2002) entwickelt.

$I = P_{korr}$, wenn $P_{korr} \leq I_{max} \cdot fak$
$I = I_{max} \cdot fak$, wenn $I_{max} \cdot fak_r < P_{korr} \leq P_{grenz}$
$I = I_{max}$, wenn $P_{korr} > P_{grenz}$
$I = 0$, wenn $P_{korr} = 0$ bzw. $I_{max} = 0$ (Gl. 5-19)
Mit:

$$fak = \frac{P_{korr} \cdot \left(1 - e^{-(I_{max} / P_{korr})}\right)}{P_{grenz} \cdot \left(1 - e^{-(I_{max} / P_{grenz})}\right)} \quad \text{für } P_{korr} > 0$$

Berücksichtigt werden muss auch die Wassermenge I_A, die sich zu Beginn des Tages eventuell noch im Interzeptionsspeicher befindet. Dies ist möglich, wenn am Vortag die Interzeptionsverdunstung E_I kleiner war als die Interzeptionshöhe I. Es gilt dann

$$I = I_{max} - I_A, \text{ da stets gelten muss: } I_A + I \leq I_{max} \qquad \text{(Gl. 5-20)}$$

Anderseits kann am Ende des Tages eine nicht verdunstete Wassermenge I_E im Interzeptionsspeicher zurückbleiben. Dann gelten die Beziehungen

$I_E = I_A + I - E_I$, falls $I_A + I - E_I < I_{max}$
$I_E = I_{max}$, falls $I_A + I - E_I = I_{max}$ (Gl. 5-21)

sowie $I_{A,\,n+1} = I_{E,\,n}$, wenn n als Tageszählung gewählt wird.
Zum Ermittlung der Interzeptionsverdunstung E_I sind die Speicherfüllung zu bestimmen. Es gelten die Randbedingungen

$E_I = ETmax$, falls $I_A + I \geq ETmax$ und
$E_I = I_A + I$, falls $I_A + I \leq ETmax$. (Gl. 5-22)

Der Gang der Bodenfeuchte wird primär bestimmt durch die Größen

$P_{korr}^{*} = P_{korr} - E_I + I_A - I_E$

$ETmax^* = ETmax - E_I$ bzw.

$ETmax^* = f \cdot ET_0 - E_I$ (Gl. 5-23)

sowie durch die Änderungen des Parameters f und der Ausschöpfungstiefe We, entsprechend der Vegetationsentwicklung im aktuellen Jahr.

Aus dem Gang der Bodenfeuchte und der maximalen Verdunstung wird die tatsächliche Verdunstung ETa mit dem Disse-Modell berechnet. Beginnend mit der Bodenfeuchte am Anfang des Jahres, wobei der Bodenwassergehalt die Feldkapazität erreicht, beträgt der Anfangswassergehalt W_A die W_{FK}. Es gilt

$W_A = W_{FK}$ [mm]

$= \Theta_{FK}$ [Vol %]$\cdot W_e$ [dm] (Gl. 5-24)

Durch die Reduktionsbeziehung nach Disse(1995) ergibt sich der ETa^* mit folgender Gl. (5-25).

$$\frac{ETa^*}{ET\max^*} = \frac{1-e^{-rx}}{1+e^{-rx}-2e^{-r}} \qquad \text{(Gl. 5-25)}$$

$$\text{Mit } x = W_{rel} = \frac{\theta - \theta_{pwp}}{\theta_{FK} - \theta_{PWP}} \text{ und r = 5}$$

Der „vorläufige“ Bodenwasservorrat $W_E´$ am Ende des Tages wird nach der Beziehung

$W_E´ = W_A + P_{korr}^* - ETa^*$ (Gl. 5-26)

berechnet.

Der auf die Bodenoberfläche treffende Niederschlag P_{korr}^* ergibt sich aus der Differenz von korrigiertem Freilandniederschlag P_{korr} und Interzeptionsverdunstung E_I. Dies gilt, falls im Interzeptionsspeicher kein Wasser aus dem Vortag enthalten ist bzw. zugunsten des nachfolgenden Tages zurückgehalten wird. Gemäß Modellvereinbarung versickert die Wassermenge SW, die den Wasservorrat im Boden bei Feldkapazität W_{FK} übersteigt. Demzufolge gilt

$SW = W_E´ - W_{FK}$ falls $W_E´ > W_{FK}$ (Gl. 5-27)

$W_E = W_A + P_{korr}^* - ETa^* - SW$ (Gl. 5-28)

Der so berechnete Wasservorrat W_E ist wiederum der Anfangswassergehalt des Folgetages. Bei einer Vergrößerung der Ausschöpfungstiefe W_e wird für die Bodenfeuchte der zusätzlichen Bodenschicht die Beziehung $\Theta = \Theta_{FK}$ angenommen. In der folgenden Tabelle 5-3 sind einige Berechnungsansätze zur Berechnung der Ausschöpfungstiefe zusammengestellt.

Tab. 5-3 Berechnungsansätze für Ausschöpfungstiefe $\overline{We}$ in dm mit $\overline{We} \geq 0$, Θ_{nFK} in Vol.-% (ATV-DVWK-M 504, 2002)

Nr.	Lansnutzungseinheit	Berechnungsgleichung
1.	Versiegelte Fläche	$\overline{We} = 0$
2.	Vegetationslose Fläche	$\overline{We} = \frac{0{,}0013 \cdot \Theta^2_{nFK} + 0{,}0197 \cdot \Theta_{nFK} - 0{,}059}{0{,}025 \cdot \Theta_{nFK}}$
3.	Grünland/Gras (mittlere Grashöhe: 12cm)	$\overline{We}_{12cm} = \frac{8{,}7616 \cdot e^{0{,}1027 \cdot \Theta_{nFK}}}{\Theta_{nFK}}$
	Grünland/Gras (Grashöhe z_B(cm) variabel)	$\overline{We} = c_{We} \cdot \overline{We}_{12cm}$ $c_{We} = -0{,}1333 \cdot 10^{-2} \cdot z_B \cdot \Theta_{nFK} + 0{,}369 \cdot 10^{-1} \cdot z_B + 0{,}16 \cdot 10^{-1} \cdot \Theta_{nFK} + 0{,}5567$
4.	Ackerland	Löß-Schwarzerde $\overline{We} = \frac{25{,}522 \cdot e^{0{,}0957 \cdot \Theta_{nFK}}}{\Theta_{nFK}}$ Sonstige Böden $\overline{We} = \frac{14{,}78 \cdot e^{0{,}0828 \cdot \Theta_{nFK}}}{\Theta_{nFK}}$

Der Begriff „Ausschöpfungstiefe“ bedeutet "Die maximale Bodentiefe, bis zu der Pflanzen über ihre Wurzeln Wasser aus dem Bodenspeicher entnehmen können. Sie liegt je nach Bodentextur / Bodeneigenschaften unterhalb der maximalen Wurzeltiefe". Die nutzbare Feldkapazität $W_{nFK,\ We}$ im effektiven Wurzelraum z_{We}, die als Wasserhöhe in mm angegeben wird, ist definiert als

$$W_{nFK,\ We} = (\Theta_{nFK} - \Theta_{PWP}) \cdot z_{We} \qquad \text{(Gl. 5-29)}$$

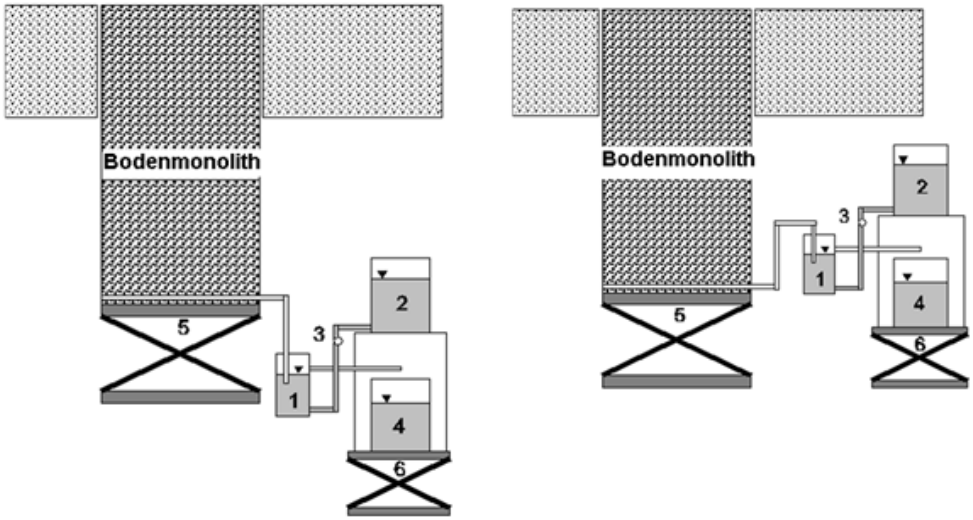
Die effektive Durchwurzelungstiefe z_{We} hängt von der vorhandenen Bodenart und Landnutzung sowie von der Jahreszeit ab. Sie liegt zwischen 3 dm und 12dm. Bei Waldböden kann sie auch Tiefen bis 25 dm erreichen. Unbewachsene Flächen haben eine verminderte Ausschöpfungstiefe, die bei ungefähr 1 dm angesetzt wird. Bei grundwassernahen Standorten steht den Pflanzen in der Vegetationszeit auch kapillar aufsteigendes Grundwasser zur Verfügung. Die kapillaren Aufstiegsraten hängen ebenfalls von der Bodenart sowie dem Abstand zwischen dem Grundwasserstand und der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes ab.

Das pflanzenverfügbare Bodenwasser W_{pfl} in mm erhält man, wenn zur nutzbaren Feldkapazität $W_{nFK,\ We}$ in der effektiven Durchwurzelungstiefe das kapillar aufsteigende Grundwasser addiert wird. Hier gilt

$$W_{pfl} = W_{nFK,\ We} + k.A. \qquad \text{(Gl. 5-30)}$$

5.3.3. Vergleich der gemessene Daten mit Modellberechnungen

Hier wird die Ergebnisse der Berechung der o.g. Modelle in Kap. 5.3.1 und 5.3.2 dargestellt. Und pararell werden sie mit der gemessene Daten vom Lysimeterstation in Dahlem verglichen.



1) Niveaubehälter für die Regulierung des Grundwasserstandes
2) Vorratsbehälter beim kapillaren Aufstieg
3) Magnetventils für den konstanten Wasserstand im Niveaubehälter
4) Auffangbehälter für die Speicherung des perkolierten Wassers
5) Brückenwaage für die Messung der Gewichtsänderungen des Bodenmonolithen
6) Waage für die Erfassung der Perkolation

Abb. 5-9 Funktionsskitzze von Unterdrucklysimeter und Grundwasserlysimeter(Zenker, 2003)

Die Abb. 5-9 zeigt den Aufbau der Lysimeter in Dahlem. Diese sind mit einem Wägesystem ausgestattet. Für einen definierten Zeitraum ergibt sich die Änderung des Bodenwassergehaltes durch die Berrechnung der in den Boden gerichteten Größen nämlich Niederschlag, kapillaren Aufstieg, Verdunstung und Perkolation. Der Niederschlag wird hier in Form der Messwerte der Hellmann-Niederschlagsmesser auf Bodenniveau berücksichtigt.

Tab. 5-4 Technische Daten der Lysimeter in Berlin-Dahlem

Geographische Lage
Lentzeallee 76, 14195 Berlin-Dahlem Koordinaten : 52° 28' nördliche Breite und 13° 18' östliche Länge Durchschnittstemperatur: 9,3 °C Die durchschnittliche Niederschlagssumme: 545 mm/Jahr Die mittlere Jahressumme der Globalstrahlung : 3.377 MJ/m²
Registrierung der Messdaten
4 Datenlogger mit 15 Minuten Messintervallen und Mittelwerten oder einer Summe aus Werten kleinerer Zeiteinheiten
Die agrarmeteorologische Station unmittelbarer Nähe der Lysimeteranlage
- Niederschlag: 0 m / 1 m je manuell und elektronisch - Lufttemperatur (+ Min/Max), gemessen in 2 m Höhe - Bodentemperatur (+ Min/Max) 0 m / 0,1 m / 0,2 m / 0,3 m - Relative Luftfeuchte, gemessen in 2 m Höhe - Class-A-Pan Bodennah - Windgeschwindigkeit 2 m / 1 m - Windweg 2 m - Czeratzki 1,7 / 0,7 m - Globalstrahlung 1 m - Diffuse Strahlung 1 m - Strahlungsbilanz 1 m

In der Tab. 5-5 wird der Bodenparameter der Lysimetervarianten gezeigt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Auswertungshilfesystem für Lysimeterdaten in Berlin Dahlem entwickelt. Mit diesem System kann innerhalb der entwickelten Softwarelösung die gewünschte Datenreihe nach der Nummer des Lysimeters und der Bodenvariante aufgerufen werden.

Tab. 5-5 Bodenparameter der Lysimetervarianten (Wegehenkel, M. et. al, 2008)

Lysimeter 1-4										
Podsol (*Ag Boden*, 1995)						Haplic Podzol				
Lysimeters 1 and 2, groundwater at 210 cm depth						Lysimeters 3 and 4, groundwater at 135 cm depth				
Horizon	Depth (cm)	Soil Class	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Humus (%)	PV (Vol %)	pF1.8 pF2.5 pF4.2 (Vol %)		K_f (mm/d)
Ap	0- 40	Su2	81,5	14,9	3,6	4,0	42,7	23,0	16,5 5,0	1400
Bsh 1	40- 60	Su2	80,4	15,1	4,5	1,3	38,6	16,8	10,7 2,3	2210
Bsh 2	60-150	Ss	87,5	9,0	3,5	0,5	36,3	25,3	16,6 4,3	490
Lysimeter 5-8										
Parabraunerde-Pseudogley (*Ag Boden*, 1995)						Stagnic Luvisol				
Lysimeters 5-8, groundwater at 210 cm depth										
Ap/Al	0-40	Su3	62,2	29,8	8,0	1,6	35,9	21,6	14,8 9,0	2173
Bt-Sw	40-90	Ls4	52,7	28,7	19,6	0,5	31,1	23,1	16,7 15,1	164
Cc-Sd	90-150	Sl4	52,5	33,7	13,8	0,2	39,4	30,1	22,6 13,2	13
Lysimeter 9-12										
Braunerde (*Ag Boden*, 1995)						Eutric Cambisol				
Lysimeters 9 and 10, groundwater at 135 cm depth						Lysimeters 11 and 12, groundwater at 210 cm depth				
Ap	0- 20	Tu4	3,7	66,9	29,4	2,8	36,0	34,5	34,0 21,5	255
Bv 1	20-60	Tu4	4,5	68,8	26,7	1,0	42,0	35,2	33,7 19,7	33
Bv 2	60-150	Ut4	6,2	74,5	19,3	0,4	35,0	32,5	30,5 15,5	48

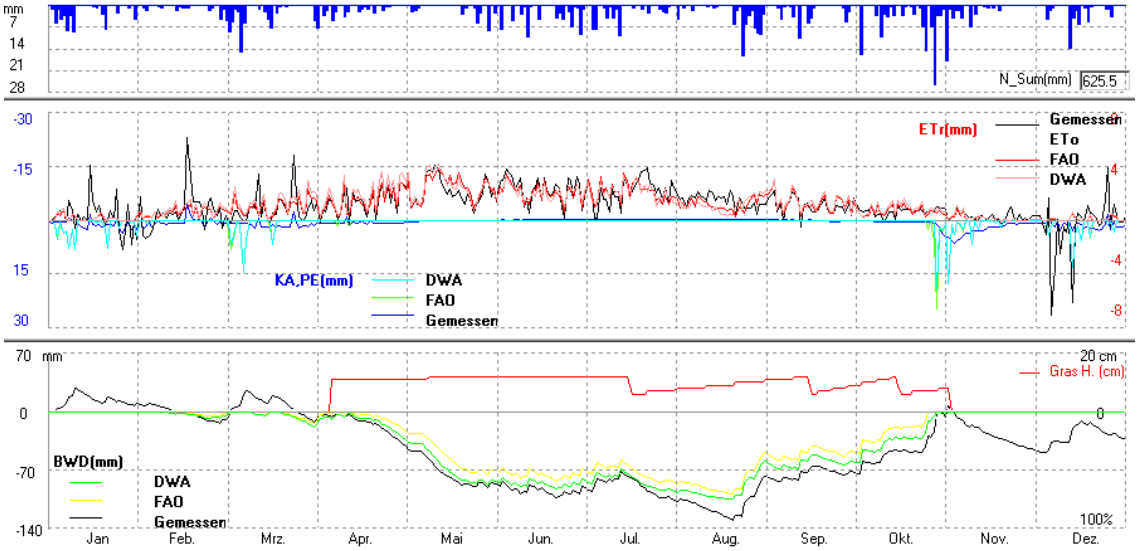


Abb. 5-10 Vergleich der gemessene und berechnete Daten Berlin im Jahr 1998 (Durchschnittlicher Wert von Lysimeter Nr. 1 und 2, Grundwasser fern, Bewuchs : Gras)

In der Abb. 5-10 wird die gemessene Niederschlagsdaten, Perkolationsmenge, Kapillaraufstiegsmenge und akktuelle Bodenwasserdefizit als prozentuale Angabe von nutzbarer Feldkapazität gezeigt. Aus der Basis von gemessenen meteorologischen Daten und Niederschlag wird der Bodenwasserhaushalt nach FAO und DWA Modell berechnet. Die Berechnungsergebnisse werden pararell mit gemessenen Daten dargestellt. Im Zeitraum von April bis Nov., wo die gemessenen Daten bereinigt sind, zeigt gute Übereinstimmung mit berechneten. Im Aug. kommt die Differenz zwischen ETo und anderen 3 Werte(ETa-gemessen, ETa-FAO, ETa-DWA). Sie ist auf die Reduzierung der Verdunstungsmenge bei niedriger Bodenfeuchte zurückzuführen.

5.4. Versickerung bei Bemessungsregen

Zurzeit existieren am Markt verschiedene Baulösungskonzepte und fertige Produkte, die zur Versickerung dienen können. In der DWA-A138 wurden die Bemessungsansätze und hydraulischen Grundlagen von 6 Maßnahmen der Flächenversickerung, Mulden-Versickerung, Mulden-Rigolen-Versickerung, Rigolen- und Rohrversickerung, Schacht-Versickerung sowie der Beckenversickerung beschrieben. Die Bemessung dieser Anlagen erfolgt nach der Kontinuitätsbedingung

Zufluss–Abfluss(Versickerung) = Speicheränderung

Abgesehen von den geometrischen Maßen und der Funktionalität beim Reinigungs-prozess ist das Dimensionierungsprinzip dieser Massnahmen sehr ähnlich. Um die Abkopplungsmöglichkeit durch die Versickerungsanlage vor Ort im Voraus abschätzen zu können, wird hier ein Bemessungsalgorithmus für eine Mulde als ein Beispiel

beschrieben. Das Verhältnis zwischen Auffangfläche und Dimension, die als Speichervolumen und Versickerungsfläche dient, kann mittels Muldenversickerung durch diese Bilanzierung ermittelt werden. Dieses Verhältnis ist ein Indikator und eine Hilfestellung bei der Frage, ob die Maßnahme „Versickerung“ bei gegebenen regionalen Bedingungen insbesondere Niederschlagsintensität überhaupt realistisch ist. In dem folgenden Kapitel werden zunächst die hydraulischen Grundlagen für den Berechnungsalgorithmus nach DWA-A138 zusammengefasst. Bei dieser Zusammenfassung wird auch die Berechungsgrundlage für die Mulde und den Versickerungsblock, der im Simulationspaket B integriert ist, dargestellt.

5.4.1. Hydraulische Grundlagen der Versickerungsberechnung

Bei der Berechnung der Versickerungsrate wird für die Versickerungsberechnung das Gesetz von DARCY herangezogen (DWA-A138). Es gilt:

$$V_f = k_f \cdot I \qquad \text{(Gl. 5-31)}$$

V_f:	Filtergeschwindigkeit der gesättigten Zone	[m/s]
k_f:	Durchlässigkeitsbeiwert der gesättigten Zone	[m/s]
I:	hydraulisches Gefälle	[m/m]

Der Durchlässigkeitsbeiwert eines nicht wassergesättigten Bodens ist geringer als der eines wassergesättigten Bodens. Die Abnahme der Werte für die ungesättigte Wasserleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Wassergehalt verläuft je nach Bodenart und Korngrößenverteilung unterschiedlich. In zukünftigen Versionen von RainCity 1.0 soll diesem Tatbestand Rechung getragen werden. Hier wird entsprechend der DWA138 folgende Vereinfachung gewählt. Der Durchlässigkeitsbeiwert wird für einen ungesättigten Zustand $k_{f,u}$ bestimmt als:

$$k_{f,u} = \frac{k_f}{2} \qquad \text{(Gl. 5-32)}$$

So dass gilt:

$$v_{f,u} = k_{f,u} \cdot I \qquad \text{(Gl. 5-33)}$$

$v_{f,u}$:	Filtergeschwindigkeit der ungesättigten Zone	[m/s]

Das hydraulische Gefälle I wird nach der Gl. (5-34) berechnet.

$$I = \frac{I_s + z}{I_s + z/2} \qquad \text{(Gl. 5-34)}$$

Dabei ist

I:	hydraulische Gefälle	[m/m]
I_s:	Abstand zwischen Anlagensohle und Grundwasseroberfläche	[m]
Z:	Einstauhöhe in der Versickerungsanlage	[m].

Wenn die Böschungsflächen einer Versickerungsanlage maßgeblich am Versickerungsvorgang beteiligt sind, ergibt sich die Gl. (5-35). Ist die Versickerung durch die Böschungsfläche gegenüber der Sohlfläche vernachlässigbar, ist folgender Ansatz für das hydraulische Gefälle vorzuziehen (DWA-A138).

$$I = \frac{I_s + z/2}{I_s} \qquad \text{(Gl. 5-35)}$$

Bei der Berechnung der Versickerungsanlagen, die in dieser Arbeit durchgeführt wurde, wurde vereinfachend nach DWA-A138 angenommen, dass das hydraulische Gefälle dem Wert I = 1 entspricht und homogene Untergrundverhältnisse (1 Schicht) vorliegen. Als Näherung wird deshalb I = 1 gesetzt. Somit ergibt sich die Versickerungsrate i. d. R. als

$$Q_s = v_{f,u} A_s = \frac{k_f}{2} A_s \qquad \text{(Gl. 5-36)}$$

Q_s: Versickerungsrate [m³/s]
A_s: Versickerungsfläche [m²]

5.4.2. Bemessungsansätze für die Muldenversickerung

Bei der Muldenversickerung wird das Niederschlagswasser vor der Versickerung zwischengespeichert. Die Zuleitung des Niederschlagswassers von den angeschlossenen Flächen sollte möglichst oberirdisch über offenen Rinnen geschehen, damit die Mulden flach angelegt werden können. Die maximale Einstauhöhe sollte aus Sicherheitsgründen 30 cm nicht überschreiten. Eine Oberbodenabdeckung und Raseneinsaat können für eine belebte Versickerungszone und somit für einen effektiven Grundwasserschutz sowie eine hohe Betriebssicherheit sorgen.
Unter der Annahme einer konstanten Versickerungsrate ergibt sich V_s aus der Differenz zwischen dem Niederschlagsvolumen $\sum(Q_z \cdot T)$ und dem Versickerungsvolumen $\sum(Q_s \cdot T)$, jeweils bezogen auf die Dauer des Bemessungsregens.

$$V_s = (\sum Q_z - \sum Q_s) \cdot T \cdot 60 \cdot f_z$$

$$= (A_u + A_s) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} \cdot T \cdot 60 \cdot f_z - A_s \cdot \frac{\mathbf{k_f}}{\mathbf{2}} \cdot T \cdot 60 \cdot f_z$$

$$= (A_u + A_s) \cdot 10^{-7} \cdot 2{,}778 \cdot rk_{D(n)} \cdot T \cdot 60 \cdot f_z - A_s \cdot \frac{\mathbf{k_f}}{\mathbf{2}} \cdot T \cdot 60 \cdot f_z \qquad \text{(Gl. 5-37)}$$

Dabei sind:

V_s: Speichervolumen [m^3]
A_u: undurchlässige Fläche [m^2]
A_s: verfügbare Versickerungsfläche [m^2]
$r_{D(n)}$: maßgebende Regenspende [l/(s·ha)]
$rk_{D(n)}$: koreanische Regenspende [mm/hr]

k_f:	Durchlässigkeitsbeiwert der gesättigten Zone	[m/s]
T:	Dauer des Bemessungsregens	[min]
f_z:	Zuschlagsfaktor gem. ATV-DVWK-A 117	[-]

Bei einer Verwendung der koreanischen Daten ist die in Gl. (5-37) als maßgebende Regenspende $rk_{D(n)}$ (die koreanische Regenspende) einzusetzen. $rk_{D(n)}$ ist dabei die örtliche Regenspende mit der Einheit von mm/hr, die die Wiederkehrzeit und Dauer des Bemessungsregens berücksichtigt. In Anlehnung an die ermittelten Niederschlagshöhen und -spenden für den ausgewählten Standort werden die Volumengrößen der Mulden iterativ ermittelt. Die Dauer des Bemessungsregens ist dabei jedoch zunächst unbekannt. Das ermittelte maximale Speichervolumen ist dann dem erforderlichen Speichervolumen gleichzusetzen. Es gilt:

notwendiges Speichervolumen:	V_s	[m^3]
Mittlere Muldetiefe :	$h = \frac{V_s}{A_s}$	[m]
Rechnerische Entleerungszeit:	$t_e = \frac{h}{\frac{k_f}{2}}$	[hr]

5.5. Zeitbeiwertverfahren zur Ermittlung der Spitzenabflusse

Das am häufigsten eingesetzte, herkömmliche Berechnungsverfahren zur Abschätzung der Spitzenabflusse ist das Zeitbeiwertverfahren (ATV, 1996). Es entspricht der so genannten Verhältnismethode („rational method“) aus dem englischen Sprachraum. Mit dem Zeitbeiwertverfahren wird der größte Regenabfluß ermittelt. Dabei wird die Fließzeit ins Kanalnetz der maßgebenden Regendauer gleichgesetzt. Der Spitzenabflußbeiwert AB_s kann hierfür nach der Tab. 5-6 angesetzt werden.

Für die Kanalnetzberechnung ist der Spitzenabflußbeiwert AB_s eine maßgebende Größe. Er beschreibt das Verhältnis zwischen der resultierenden maximalen Abflußspende und der zugehörigen Regenspende. Er wird ausgedrückt als

AB_s = max. Abflussspende / zugehörige Regenspende
= q [Liter/s·ha] / r [Liter/s·ha]

Für die Berechnung der Spitzenabflussmenge werden Spitzenabflußbeiwerte Ψ_s in Abhängigkeit vom Anteil der befestigten Flächen, der Geländeneigungsgruppe und der maßgeblichen Bezugsregenspende r_{15} nach Tabelle 5-6 empfohlen. Sie beziehen sich auf die Fläche des kanalisierten Einzugsgebietes ($A_{E,k}$). Es gilt

$$Q_r = r_{(D,n)} \cdot AB_s \cdot A_{E,k}$$

Die Regenspende $r_{(D,n)}$, die früher als Produkt aus der Bezugsregenspende $r_{15,1}$ und dem Zeitbeiwert einer bestimmten Regendauer D und Regenhäufigkeit n gebildet wurde, kann aus den Starkniederschlagsdaten des Deutschen Wetterdienst(DWD) ermittelt werden.

Auf Grundlage dieses Anhanges ist es möglich, die notwendigen Durchmesser der zu verwendenden Kanäle zu bemessen. Wenn die abgekoppelte Fläche durch die Versickerungsanlage bekannt ist, kann die Reduzierung der Kanaldurchmesser abgeschätzt werden. Dieser Bemessungsansatz wurde bei der Programmierung berücksichtigt und ins Simulationspaket A integriert.

5.6. Wirtschaftlichkeit

Ein Vergleich zwischen herkömmlichen und dezentralen Wassersystemen kann anhand der ökonomischen Effizienz durchgeführt werden. Auch zwischen den verschiedenen dezentralen Anlagen gibt es deutliche Unterschiede in den ökonomischen Auswirkungen. Gegenstand der Betrachtung ist das Verhältnis des potenziellen Ertrages und der entstehenden Kosten. Dieses Verhältnis spielt häufig die größte Rolle bei der Anlagenauswahl. Je nach dem welche Definitionen für die Begriffe „Ertrag“ und „Kosten“ zugrunde gelegt werden, ergeben sich bei der Betrachtungsweise unterschiedliche Bewertungskriterien. Im Folgenden werden kurz die drei unterschiedlichen Herangehensweisen und zwar Umweltökonomie, Life-Cycle-Assessment und Life-Cycle-Costing vorgestellt.

Abgesehen von den Hochwasserschäden, stellt aus der Sicht von Umweltökonomie jedes neu zu errichtende Bauwerk einen Eingriff in den Naturhaushalt dar. Diese Betrachtungsweise ist komplex, da hier nicht nur die direkten Folgen sondern auch die indirekten Auswirkungen auf den Naturhaushalt bewertet werden sollen. Bei der dez. RWB sind hier unter anderem z.B. der Beitrag zur Grundwasserneubildung, ein positiver Einfluss auf die Grundwasserqualität, Flora und Fauna sowie der Gewässerschutz durch eine Entlastung der Kanalisation zu berücksichtigen. Auch der Beitrag der entstehenden Verdunstungskälte zur Verbesserung des Stadtklimas durch Grünflächen ist nicht zu vernachlässigen. Problematisch ist allerdings die schlechte Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Verfahrensvarianten aufgrund fehlender gemeinsamer Einheit oder relativ subjektiven Werten.

Es wird häufig versucht Ökosysteme und ihre wirtschaftliche Funktion in Geldeinheiten auszudrücken und somit vergleichbar zu machen. Die gleichberechtigte Koexistenz von Sachvermögen und Naturvermögen soll eine mehr oder weniger ganzheitliche Sicht auf Eingriffe und ihre Folgen ermöglichen. Beispielsweise ergab sich in Deutschland ein flächenspezifisches Grundwasserneubildungsvolumen von 7 m^3/m^2, mit einem mittleren jährlichen Niederschlag von 700 mm. Anhand dieser Werte lässt sich ein monetärer ökologischer Wert der Grundwasserneubildungsrate von ca. 11

Euro/m^2 ermitteln. Dabei wird näherungsweise mit einem durchschnittlichen Verkaufspreis von 1.57 €/m^3 für unbelastetes Grundwasser gerechnet. Dieser Preis entspricht dem Verkaufserlös für Trinkwasser (Doetsch und Rüpke, 1998).
Allerdings wird der ökonomische Anreiz auf Grundlage dieser Berechnung wegen der stark vereinfachten Annahmen und der Einschränkungen sicherlich nicht allein ausreichen, um eine Umkehr von konventionellen Verfahren zugunsten von ökologisch orientierten Maßnahmen einzuleiten. Diese Bewertungsansätze könnten jedoch eventuelle Mehrausgaben zur Vermeidung von ökologischen Störungen argumentativ unterstützen (Herzer, 2004).
Während die oben erwähnte Betrachtungsweise der Umweltökonomie auf die Auswirkungen von Eingriffen in den Naturhaushalt fokussiert ist, hängen Entscheidungen auf Grundlage eines Life-Cycle-Assessments von der Einschätzung der Umweltrelevanz von Produkten, Prozessen oder Dienstleistungen ab (DIN EN ISO 14040). Diese Methode zur Einschätzung der Umweltrelevanz von Untersuchungsgegenständen wird auch als Ökobilanzierung bezeichnet. Betrachtet wird dabei der gesamte Lebensweg des zu untersuchenden Produktes von der Gewinnung und Herstellung einzelner Rohstoffe, über den Produktionsprozess, die Distribution und den Gebrauch bis zur Entsorgung. Die detaillierte Dokumentation dieses Lebenswegs ist Voraussetzung für die anschließende Datenerfassung. Dabei werden qualitative und quantitative, spezifische auf das Produkt bezogene und allgemeine aus firmenexternen Quellen übernommene Daten berücksichtigt (Schmidt und Schorb, 1995). Für die Herstellung der Materialien zum Bau von Regenwassernutzungsanlagen wurde von Bölter (2001) eine Emissionsbilanz ermittelt. Aus diesen Daten lässt sich mit Hilfe von standardisierten Sachbilanzen ein jährlicher Emissionswert für die Herstellung der jeweiligen Materialien bestimmen. Beispielhaft wurden bei seiner Arbeit die Indikatoren z.B. Partikel, CO, CO_2, N_2O, NO_x und SO_2 nur für das Medium Luft ausgewählt.
Um die ökonomischen Konsequenzen möglichst ganzheitlich zu untersuchen, wird die Methode des Life-Cycle-Costing als ein geeigneter Ansatz vorgeschlagen. Heute wird der Begriff Life-Cycle-Costing in der Wissenschaft sehr unterschiedlich diskutiert. Ein einheitliches Modell gibt es nicht. Einigkeit besteht lediglich in der Forderung im Rahmen des Life-Cycle-Costing die Folgekosten als „Kostensubstitutionen zwischen den Anfangs- und Folgekosten“, zu berücksichtigen (Coenenberg, 1994; Zehbold, 2001). Aus diesem Grund ist es besonders wichtig die Phasen des Lebenszyklus, die einen besonderen Einfluss auf die Lebenszykluskosten haben, zu identifizieren und die Beziehung zwischen den Handlungen und den Kosten zu konkretisieren.
Ulmschneider(2004) wagte, als Grundlage für eine objektive Entscheidungsfindung, den Versuch einer gesamtheitlichen Betrachtung am Beispiel einer Abwasserpumpstation. Als ein Ergebnis dieser Studie ist die Verteilung der LCC(Life-Cycle-Costing) in dem folgenden Diagramm dargestellt.

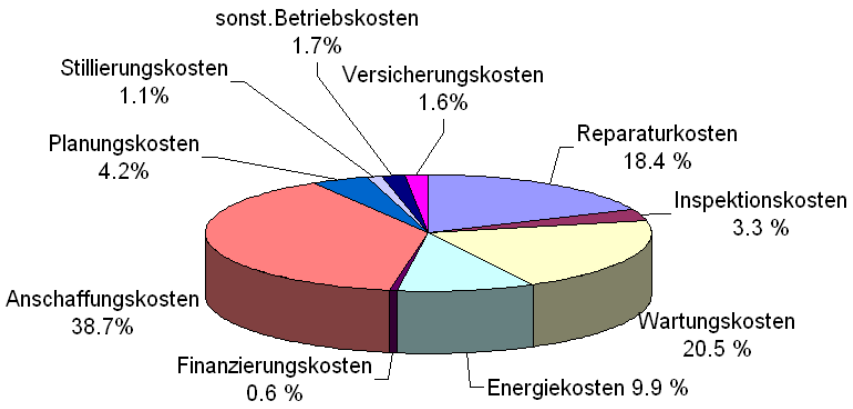


Abb. 5-11 Die Verteilung der LCC(Life-Cycle-Costing) einer Abwasserpumpstation (Ulmschneider, 2004)

Auf der Grundlage dieser Verteilung lassen sich Lebenszykluskosten für dezentrale RWB-Anlagen, besonders Nutzungsanlagen, abschätzen, die eine relativ ähnliche Funktionalität und einen ähnlichen Aufbau haben.

Die Regenwassernutzung ist in grossem Massstab gegenüber dem kleinen Massstab besonders interessant in der Schweiz. Es zeigt sich, dass das Optimum sowohl energetisch als auch ökonomisch, bei einer Zisternengrösse von 10 bis 16 Tage für den Wasserverbrauch liegt (BUWAL, 2002).

Kaiser(1997) hat die Kosten dezentraler RWB-Maßnahmen mit konventionellen Entwässerungssystemen verglichen. Bei seinem Beispiel handelt es sich um den Neubau eines Logistikzentrums in Dorsten. Die Grundstücksfläche hat eine Größe von ca. 47.000 m^2. Von dieser Fläche sind ca. 43.000 m^2 mit großzügigen Hallenbauwerken und offenen Lager- und Verkehrsflächen bebaut. Lediglich am Rande des Grundstückes existiert ein 3 bis 8 m breiter Streifen zur Eingrünung des Betriebsgeländes. Hier werden Einsparungen in einer Größenordnung von 460.000 Euro erreicht. Darüber hinaus konnten zusätzlich Bauzeiteinsparungen durch den Verzicht auf Grundleitungen erreicht werden. Die Abflüsse vom Dach-, Verkehrs- und Lagerflächen wurden oberirdisch in die ca. 0,5 m tief abgesenkten Versickerungs-bereich abgeleitet. Die konventionelle Entwässerung des Baugebietes hätte Kosten in Höhe von ca. 600 000,- DM(ca. 300 000,- Euro folgend in EURO mit Kurs 2:1) verursacht. Einsparungen werden hier erreicht im Bereich der befestigten Verkehrs- und Lagerflächen(ca. 30 000 m2 x 10,-Euro für den Bau von Entwässerungssystemen, Grundleitungen und Einläufen). Den Kosten von 300 000,- Euro stehen etwa 40 000,- Euro für die Erstellung der Mulden im Grundstücksrandbereich gegenüber.Durch die Befreiung von der örtllichen Regenwassergebühr(zur Zeit 0,68 Euro /m2/a in Dorsten) spart der Betrieb jährlich rund 30 000,- Euro und in 5 Jahren 150 000,- Euro ein. Abgesehen von der Bauzeiteinsparung durch den Versicht auf Grundleitungen konnte der Betrieb insgesamt in Höhe von 410 000,- Euro einsparen.

Der umweltökonomische Ansatz und das Life-Cycle-Assessment konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter vertieft und angewandt werden. Hier wurde versucht, die Methodik Life-Cycle-Costing beispielhaft umzusetzen. Es gilt jedoch, sich die Wirkungsweisen und ihren eventuellen monetären Gegenwert zu vergegenwärtigen. Im erstellten Programm wurde eine Berechungssubroutine mit einem beliebigen Eingabefenster für Baukosten und Betriebskosten integriert (s. Kapitel 7.4.3)

6. Simulationspaket „RainCity-Balance“ für Planung und Konzeptentwicklung

Bei der regionalen Konzeptentwicklung für dezentrale RWB müssen die Unterschiede der Niederschlagsmenge und Verteilung berücksichtigt werden (Abb. 6-1).
In jeder Klimazone der Erde wurden über Jahrtausende eigene wasserwirtschftliche Techniken insbesondere für die landwirtschaftliche Nutzng entwickelt (Abb. 6-2). Viele dieser Techniken finden auch noch heute trotz der Verwendung moderner Wasserversorgung und -entsorgung (Diestel, 2004). In diese Techniken gingen langjährige Erfahrungen der Menschen ein, die beim Umgang mit dem Regenwasser ortsspezifische Strategien verbessert haben.

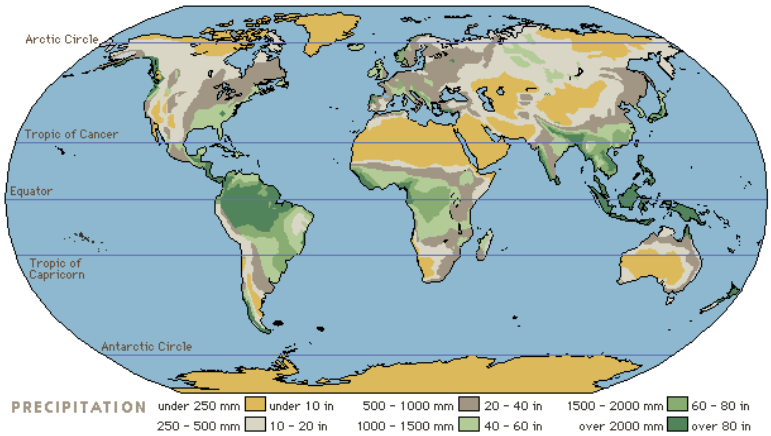


Abb. 6-1 Verteilung der jährlichen Niederschlagshöhen der Welt.
2006 Microsoft http://encarta.msn.com/

Grundlage einer rationalen Wassernutzung und -bewirtschaftung ist eine ausreichende Kenntnis der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Wasserhaushaltsgrößen. Hierbei können Wasserhaushaltsbilanzierungen hilfreich sein. Je nach gewünschter räumlicher und zeitlicher Auflösung der Bilanz werden komplexe hydrologische Modelle eingesetzt. Der Bilanzierungszeitraum kann je nach Fragestellung unterschiedlich gewählt werden (Wohlrab, 1992).

Abb. 6-2 Konzentration von Oberflächenabfluß in Iran(links) und Retention von Niederschlagswasser in Furchen in Zimbabwe. Fotos: Diestel

Dieses Kapitel stellt ein Simulationspaket für die Entwicklung von Konzepten der dezentraler RWB bei unterschiedlichen Klimabedingungen mit einem Bilanzierungszeitraum von Tagen und zum Teil Stunden vor. Aus hydrologischer Sicht besteht dieses System aus 3 Komponenten, nämlich Verdunstung, Nutzung sowie Versickerung des Regenwassers.
Mit diesem Paket ist es möglich, zu Beginn der Anlagenplanung ein Grundkonzept zu erstellen. Von einigen Regionen bestimmter Länder sind keine zeitlich hochauflösenden Klima- und Niederschlagsdaten vorhanden. Die Dateneingabe dieses Paketes basiert daher meistens auf den verfügbaren Tagesintervallen der Klima- und Niederschlagsdaten.

6.1. Wasserbilanz unter Berücksichtigung der Verdunstung

6.1.1. Klimatische Wasserbilanz

In der Praxis dient der Wert der potentiellen Evapotranspiration ETp zur Lösung vielfältiger Probleme. So z.B. in der „Klimatischen Wasserbilanz“ für wasserwirtschaftliche Zwecke, bei der Planung von Bewässerungsanlagen oder bei der Beregnungsberatung. Die größte Bedeutung kommt der potentiellen Evapotranspiration ETp aber in Verbindung mit Wasserhaushaltsmodellen, zur Berechnung der tatsächlichen Verdunstung und der Wasserbilanz von größeren oder kleineren Gebieten, zu(DVWK, 1996). Im Kap. 5.2.2 und 5.2.3 wurden die Berechnungsansätze über ETp(potentielle Evapotranspiration) und ETo(Gras-Referenzverdunstung)zusammengefasst und entsprechende Subroutinen entwickelt. Die ETo findet in der klimatischen Wasserbilanz Verwendung nach DVWK M 504. Diese lautet

$$KWB = P_{korr} – ETo \quad \text{(Gl. 6-1)}$$

KWB: Klimatische Wasserbilanz [mm]
P_{korr}: Korrigierte Niederschlagsmenge [mm]
ETo: Gras-Referenzverdunstung [mm] (DVWK M 504)

Die Niederschläge P_{korr} beinhaltet die Niederschlagshöhe nach Korrektur der systematischen Meßfehler. Bei der Beschaffen der Niederschlagsdaten ist zu überprüfen, welche Korrekturen stattgefunden haben.
Mit der klimatischen Wasserbilanz kann ein erster Eindruck über die Klimabedingungen, die durch den Wasserhaushalt bedingt sind, der jeweiligen Region gewonnen werden. Auf der Grundlage dieser Bilanz kann auch die Verfügbarkeit der Niederschläge für die von der Verdunstungshöhe abhängigen Maßnahmen (z.B.: Dach- und Fassadenbegrünung) bei Regenwassernutzungsanlagen abgeschätzt werden.
Der Abruf der erforderlichen meteorologischen Daten ist direkt aus der erstellten Datenbank möglich. Die notwendigen Niederschlagsdaten werden durch den Schalter „im Fenster „N_Daten“ vom erstellten Programm bereitgestellt. Nach der Durchführung

wird das Ergebnis der klimatischen Wasserbilanz mit der Tagessumme der Niederschläge und der Verdunstung dargestellt. Die linke Achse in der Abb. 6-3 zeigt die monatlichen KWB für die Werte der grünen Säulen. Auf der Achse rechts oben ist die Tagessumme der Niederschläge für die Werte der blauen Säulen aufgetragen. Die Werte der Verdunstungstagessumme auf der schwarzen Linie sind rechts unten abzulesen. Für die Berechnung einer monatlichen KWB wurde die Annahme getroffen, dass die Niederschläge in einer fiktiven Zisterne im Monatsintervall gesammelt und anschließend für die Bewässerung von Pflanzen mit einer entsprechenden Verdunstungsrate verwendet werden. Sofern die übliche KWB auf der Annahme eines ausreichenden Bodenwassergehalts basiert, ist dieses Versorgungskonzept mit Zisterne äquivalent. Der prozentuale Anteil der Bewässerungsfläche an der angeschlossenen Auffangsfläche lässt sich beliebig und frei eingeben. Dies erhöht zusätzlich den Realitätsbezug des Simulationskonzeptes.

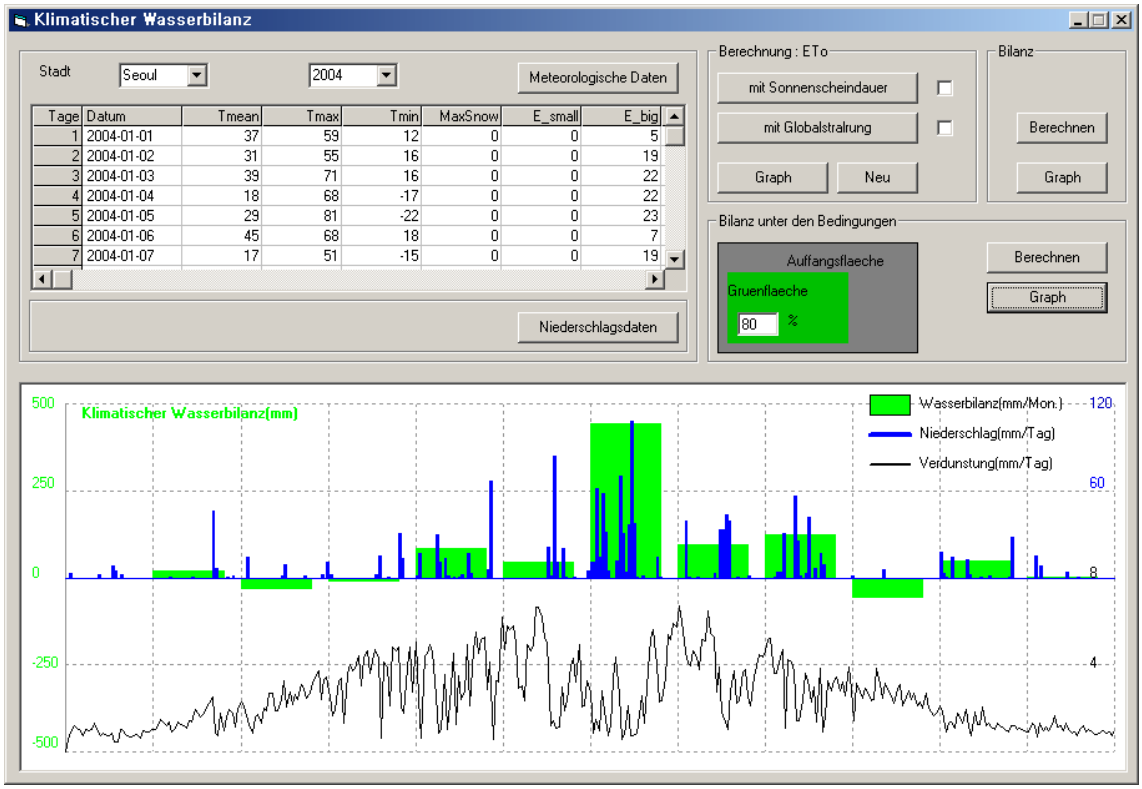


Abb. 6-3 Klimatische Wasserbilanz von Seoul (Korea) aus den meteorologischen Daten im Jahr 2004

In dieser Abbildung wird deutlich, dass es in Seoul in den Sommermonaten einen extremen Niederschlagsüberschuss gibt. Im Frühling und Herbst benötigen die Grünflächen, beispielsweise Parkplätze mit Rasengitterstein oder Dachbegrüung, dagegen zusätzliche Bewässerung. Die folgende Abb. 6-4 zeigt eine Tropfenbewässerungsanlage in Rasengittersteinen von der Fa. Handsel-Green für Parkplätze in Korea.

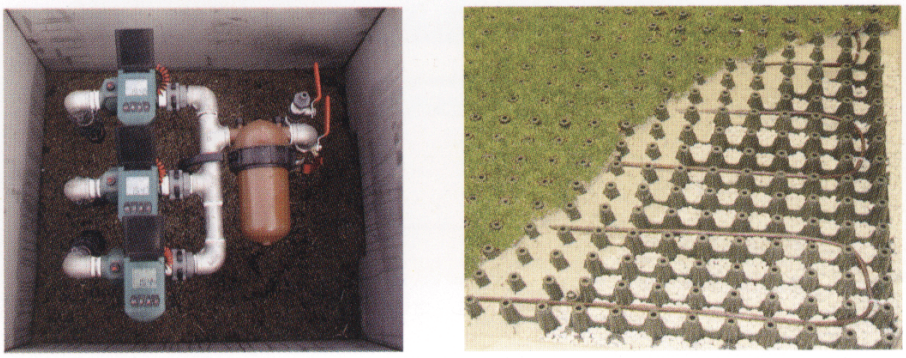


Abb. 6-4 Tropfenbewässerungsanlage in Rasengitterstein im Parkplatz. Quelle: Handsel-Green Co.

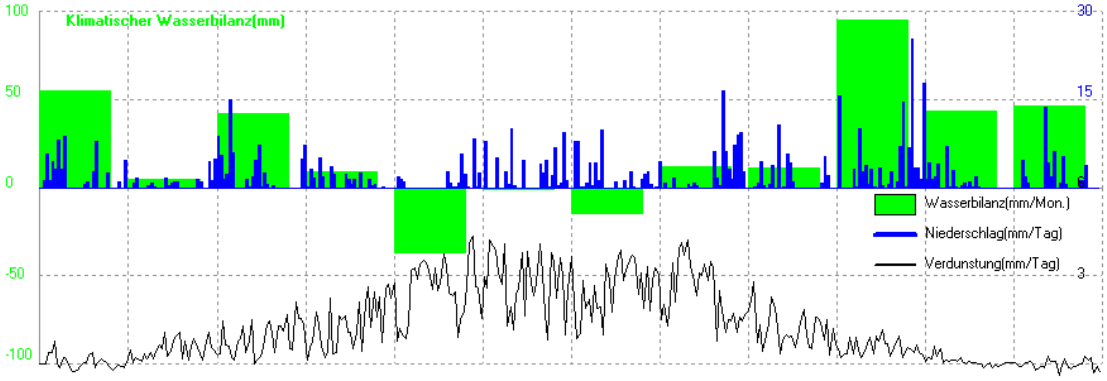


Abb. 6-5 KWB von Berlin, aus dem Jahr 1998, mit einem Anteil der Bewässerungsfläche von 50% der angeschlossenen Auffangfläche

Aber in Berlin ist die klimatische Wasserbilanz ganz anders als in Korea. Angenommen, dass die Grünfläche 50% der Auffangfläche beträgt, braucht man nach dieser Bilanz in Sommermonaten zusätzliche Bewässerung (Abb. 6-5). Diese Ergebnisse sind besonders realistisch, wenn sich die Grünfläche auf dem Bauwerk befindet wie die Pflanzenkübel beim Projekt im Adlershof in Berlin (Kap. 3.3.5).

6.1.2. Wasserbilanz von Stadtgewässern

Stadtgewässer sind meist sehr attraktive Objekte, die unter Berücksichtigung ihrer Lage im städtisch bebauten Raum gute physikalische und klimatische Eigenschaften aufweisen (Tab. 6-1). Tendenziell werden immer mehr kleine Stadtgewässer künstlich in neuen Siedlungsgebieten und im Stadtzentrum angelegt. Im Rahmen des „Cheonggyecheon“ Projektes in Seoul Korea wurde ein Gewässer renaturiert. Das Erhaltungswasser für dieses Gewässer wird zu einem großen Teil aus Flusswasser gewonnen. Der Rest stammt aus ständig abgepumptem Grundwasser. Bei der Planung wurde eine alternative Methode vorgeschlagen, dass die kleinen Wasserkreisläufe in der Abb. 6-6 links oben entlang der Strecke miteinander verknüpft werden sollen.

Weiterhin wurde das dez. RWB im Einzugsgebiet des Gewässers Cheonggyecheon betont (Chung, 2005). Wegen der langen Strecke (10.92 km), der Schwierigkeiten mit dem Umbau und dem Management des Einzugsgebiets sowie der fehlenden Erfahrungen wurde das alternative Konzept leider nicht realisiert.

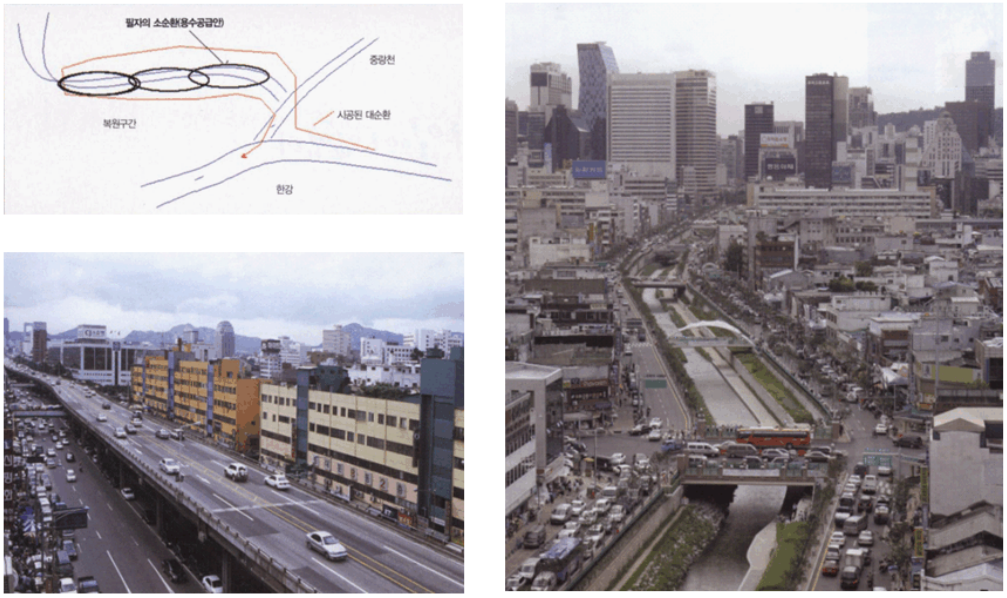


Abb. 6-6 Kleiner Wasserkreislauf bei der Konzeptentwicklung (links oben : Chung), vor (links unten) und nach(rechts) der Renaturierung (ELA, 2005)

Tab. 6-1 Physikalische und klimatische Eigenschaften von Gewässern unter Berücksichtigung ihrer Lage im städtisch bebauten Raum (Schuhmacher und Thiesmeier, 1991)

Parameter	typische Werte bzw. Eigenschaften
Wärmespeicher-fähigkeit	hoch ; Wasser: 4,2 KJ/kg K, Beton : 0,9 KJ/kg K
Wärmeleitfähigkeit	gering ; Wasser : 0,6 W/m K, Beton : 4,6 W/m K
BOWEN-Ratio(ß)	niedrig : Wasser : -0,2 ; bebautes Gebiet : 1 - 2
Oaseneffekt	Verbrauch an latenter Energie größer als Strahlungsbilanz. Ausgleich durch advektive Zufuhr von sensibler Energie aus bebauter Umgebung
Lokalzirkulation	hängt von der Größe des Gewässers sowie von der Bebauungsdichte ab; Im Uferbereich: stark tagsüber bei überwärmtem Stadtgebiet und relativ kühler Wasseroberfläche
Luftmassentransport	bei Schwachwindlagen durch Mitführgeschwindigkeit des fliessenden Gewässers
Verdunstung	hoch ; bei Windrichtung parallel zur Längsachse des Gewässers, jedoch deutlich niedrigere Verdunstung als bei Windrichtung senkrecht dazu

Für die Bilanzierung der Zu- und Ablaufmengen in und von Stadtgewässern wurde eine Berechungssubroutine entwickelt. In dieser Subroutine wurde angenommen, dass das

Regenwasser aus der Auffangfläche, in der Regel vom Dach in der Zisterne, gesammelt und zur Aufrechterhaltung des Gewässerspiegels verwendet wird. Die Verdunstungsmenge auf der Wasseroberfläche wird als Ablaufmenge betrachtet. Die Bilanzierung von Zu- und Ablaufmenge wird durch das Verhältnis von Auffangfläche und Wasseroberfläche sowie den mittleren Abflussbeiwert bestimmt.

In der Abb. 6-7 ist der Tagesverlauf der Verdunstung als schwarze Linie dargestellt. Die Tagesniederschlagsmenge wird durch die hellblaue, schmale Säule und die monatliche Bilanz durch die blaue dicke Säule dargestellt. Alle Tageszulaufmengen eines Monats werden zum Monatszulauf, alle Tagesverdunstungsmengen zum Monatsablauf summiert. Der Unterschied von beiden Größen wird in der Abb 6-7 dargestellt. Bei der monatlichen Bilanzierung wurde angenommen, dass die fiktive Zisterne groß genug ist, um alle Niederschlagsüberschüsse vom jeweiligen Monat zu speichern. Das so gespeicherte Regenwasser wird in den nächsten Tagen zur Aufrechterhaltung des Gewässerspiegels verwendet. In Zeiten, in denen kein Regenwasser zur Verfügung steht, wird das Gewässer mit Trinkwasser versorgt. Durch diese Berechnungsannahme kann die zusätzliche Menge für Trinkwassernachspeisung abgeschätzt und das optimale Verhältnis von Auffangfläche und Wasseroberfläche ermittelt werden.

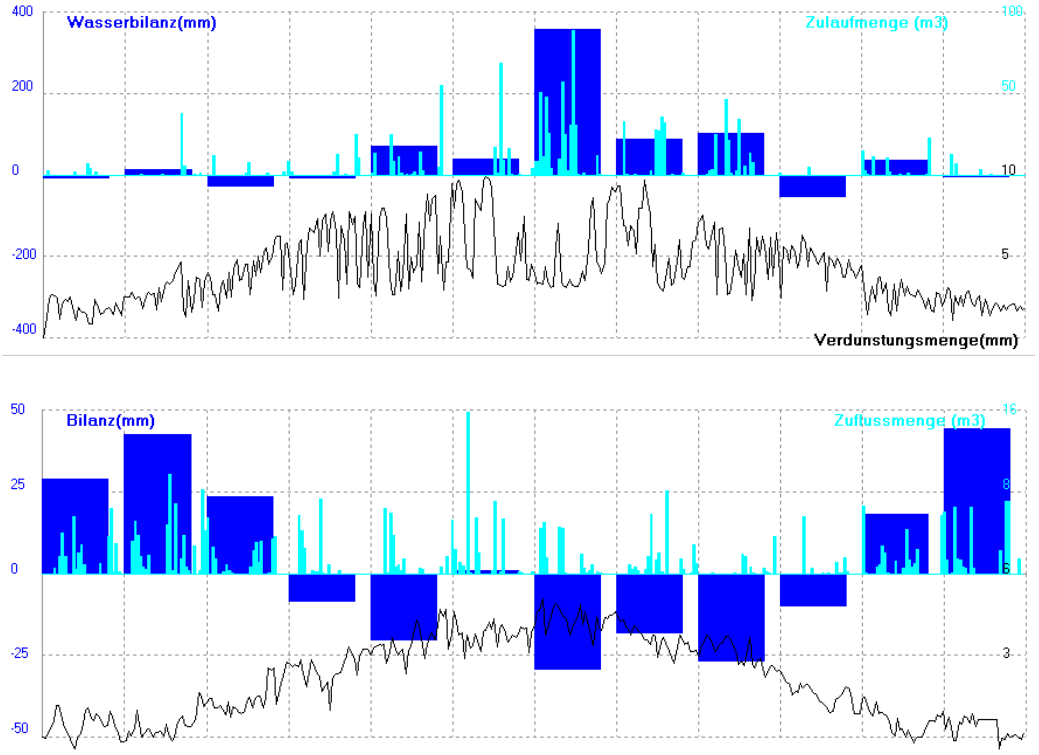


Abb. 6-7 Wasserbilanz von urbanen stehenden Gewässern bezogen auf Zulaufmenge und Verdunstungsmenge bei einem mittleren Abflussbeiwert von 0,7 und einer Wasseroberfläche von 400 m^2 in Seoul(oben) und Berlin im Jahr 1999

In der Abb. 6-7 wird die Wasserbilanzierung zwischen den Städten Seoul und Berlin verglichen. Erhebliche Ablaufmengen von ca. 360 mm sind in Seoul vor allem im Juli zu erwarten. In Berlin ist eine zusätzliche Trinkwasserversorgung in den

Sommermonaten erforderlich, wenn der Wasserstand nur durch Erfüllung mit Regenwasser konstant bleiben muss. Um noch realistischere Mengen zu berechnen, ist die Bestimmung der konkreten Größe der Zisterne erforderlich.

6.1.3. Bodenwasserbilanz

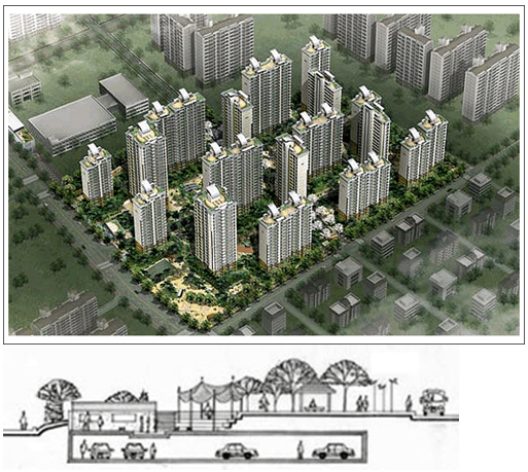


Abb. 6-8 Vogelperspektive und Querschnitt einer Hochhaussiedlungvor dem Bau

In den Hochhaussiedlungen Koreas sind die meisten Autogaragen unterirdisch innerhalb des Gebiets angelegt (Abb. 6-8). In den Bodenschichten auf diesen Garagen sind mit Dränmatten oder Entwässerungsrohren verlegt. Das versickerte Regenwasser fließt durch diese Entwässerungsanlagen wieder in die Kanalisation ab. Das abfliessende Regenwasser kann weiderum gesammelt und einer weiteren Nutzung z.B. Bewässerung oder Straßenreinigung zugeführt werden. Auch die Versickerungsanlage muss so angelegt werden, dass das Regenwasser ins Grundwasser durch die Bodenschichte, wo die Garagen nicht gebaut sind, abgeführt werden kann. Um die Umsetzbarkeit dieses Konzepts abzuschätzen und einen Eindruck vom vorhandenen Bodenwasserhaushalt gewinnen zu können, wurde eine Subroutine für die Bodenwasserbilanz entwickelt. Der Begriff „Bodenwasserbilanz“ beinhaltet in dieser Arbeit die Wassergehaltsänderung, Verdunstung und Perkolation in dem mit Gras bedeckten Boden. Für die Ermittlung der Bodenwasserbilanz wurden 2 Berechungsverfahren der Regelwerke von FAO (Allen, R.G et. al, 1998) und ATV-DVWK (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2002) programmiert.

Die ausführlichen Berechnungsansätze sind in Kapitel 5.3 beschrieben. Die Abb. 6-9 zeigen Ausschnitte aus dem erstellten Computerprogramm. In dieser Subroutine werden die Parameter für die Berechnung eingegeben und die Ergebnisse gezeigt.

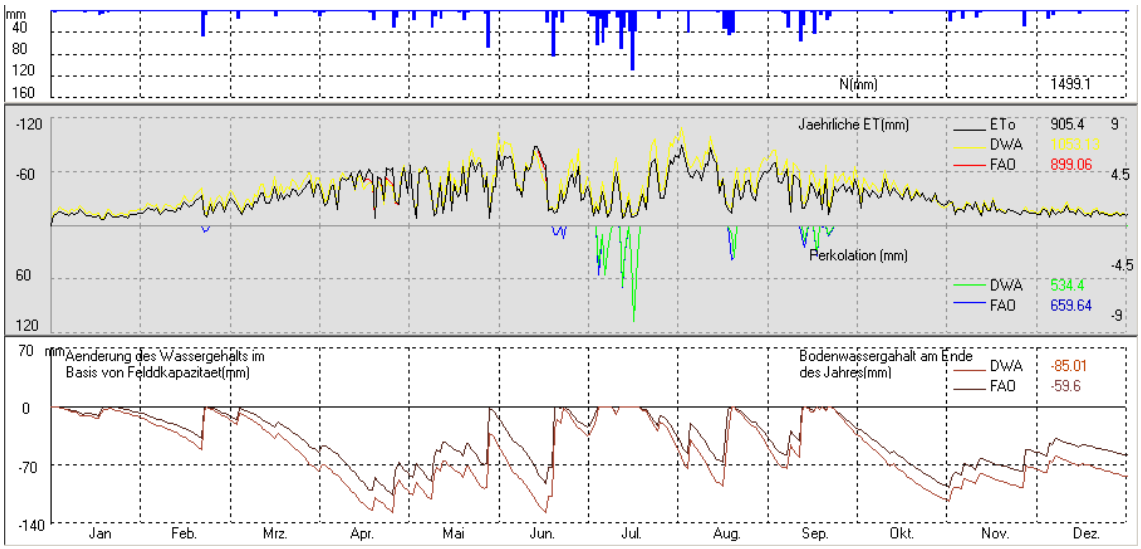


Abb. 6-9 Verlauf der Bodenwasserbilanz im Jahr 2004 Seoul(Lehmiger Sandboden. Grasbewuchs)

In Abb.6-9 wird der Verlauf der Bodenwasserbilanz sowie Tagesniederschlag, ETo und ETa Perkolationsmenge und Wassergehaltsänderung im Boden beispielhaft im Jahr 2004 in Seoul dargestellt. Die Wassergehaltsänderung beschreibt die Änderung des Wassergehalts im Vergleich zur Feldkapazität am Anfang des Jahres. Hier sind die Perkolationsmenge im Monat Juli und die Unterschiede von ETo und ETa-FAO sowie ETa-DWA im April, Juni und Oktober auffällig. Die kleinere Verdunstungsmenge im April ist auf Wasserstress der Vegetation durch einen niedrigen Bodenwassergehalt zurückzuführen. Der Großteil der Niederschläge, der in den Bodenporen nicht verbleibt, perkoliert wieder durch die Bodenschichten. Die folgende Tab. 6-2 fast die gesamte Wasserbilanz zusammen.

Tab. 6-2 Die berechnete Bilanz durch die Subroutine „Bodenwasserbilanz“

Jährliche Niederschlagsmenge	1499.1 mm im Jahr 2004 Seoul	
	FAO Modell	DWA Modell
jährliche Verdunstung	899,06 mm	1053,13 mm
Perkolation	659,64 mm	534,4 mm
Wassergehaltsänderung	-59,6 mm	-85,0 mm
Summe	1499,1 mm	1502,53 mm

Die nutzbare Perkolationsmenge beträgt in Seoul durchschnittlich ca. 600 mm unter den Bedingungen von lehmiger Sandbodenschichte von 90 cm mit Grasabdeckung. Dieser 90 cm Bodenschicht ist auf den Autogaragen im Hochhäusergebiet in Korea üblich zu finden. Wenn die Zisternen an die verwendeten Dränmatten und Entwässerungsrohre angeschlossen sind, kann das gewonnene Regenwasser für Bewässerung und Straßenreinigung wieder verwendet werden. Durch eine Verbindung

mit dem Versickerungsblock im Boden können die Überläufe bei starken Niederschlagsereignissen in den Boden versickert werden.

6.1.4. Strahlungsenergiebilanz

In dieser Subroutine „Strahlungsenergiebilanz“ wird berechnet, wie viel Stahlungsenergie durch solchen Verdunstungsprozess umgewandelt werden kann.

Für die Energiebilanz an einer als masselo betrachteten Oberfläche der Erde, ausgedrückt z.B. in W/m2, gilt

$$Rn + H + G + LE = 0$$

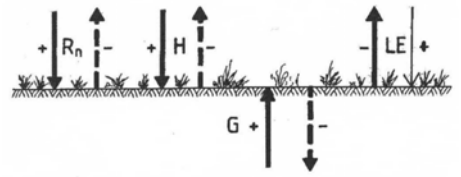


Abb. 6-10 Richtung der Energiebilanzgrößen eines Ausrichtung der Erdoberfläche Quelle: DVWK M 238

Dabei bedeuten Rn die Strahlungsbilanz (Nettostrahlung), H den fühlbaren Wärmestrom, G den Bodenwärmestrom und LE den latenten Wärmestrom (Verdunstungswärmestrom). Alle vier Grössen können positiv oder negativ sein. Der Verdunstungswärmestrom ist meist negativ. Ein positiver Wert bedeutet die Bildung von Tau oder Reif durch Kondensation. Bei der Energiebilanz wird keine laterale Zu- bzw. Abströmung von Energie berücksichtigt. Bei Wasserbilanz- und Energiebilanz-betrachtungen über längere Zeitspannen werden der Bodenwärmestrom G vernachlässigbar klein (DVWK M 238).

Der Umrechnungsfaktor für die Strahlungsenergiebilanz wurde von Allen, R.G. u.a (1999) vorgeschlagen. Diese Faktoren sind in der Tabelle 6-4 aufgeführt. Der dort aufgefühlte Faktor von 2,45 MJ m^{-2} day^{-1} / mm day^{-1} wurde im Berechungsansatz verwendet.

Tab. 6-3 Umrechnungsfaktoren für die Strahlungsenergie

	Multiplikationsfaktoren für die Berechnung der Strahlungsenergie bei bestimmter Fläche und Zeiteinheit				äquivalente Evaporation
	MJ m^{-2} day^{-1}	J cm^{-2} day^{-1}	cal cm^{-2} day^{-1}	Wm^{-2}	mm day^{-1}
1 MJ m^{-2} day^{-1}	1	100	23.9	11.6	0.408
1 cal cm^{-2} day^{-1}	4.1868 10^{-2}	4.1868	1	0.485	0.0171
1 Wm^{-2}	0.0864	8.64	2.06	1	0.035
1 mm day^{-1}	2.45	245	58.5	28.4	1

* Für Wasser mit der Dichte von 1000kg m^{-3} und 20°C

Die Subroutine „Strahlungsenergiebilanz“ verarbeitet zunächst die berechnete Verdunstungsmenge(ETa) aus dem Model „Bodenwasserhaushalt“. Diese Menge wird mit dem Umrechnungsfaktor aus der Tabelle 6-3 in die Einheit MJ m^{-2} day^{-1} als äquvalente latente Wärme umgerechnet. Die Grafik in der Abb. 6-11 zeigt die gemessene Strahlungsbilanz Rn, die umgerechnete latente Wärme und die Differenz zwischen Rn und latenter Wärme, als fühlbare Energie. Dieses Ergebnis kann in Form

von Tagesintervallen angezeigt werden.

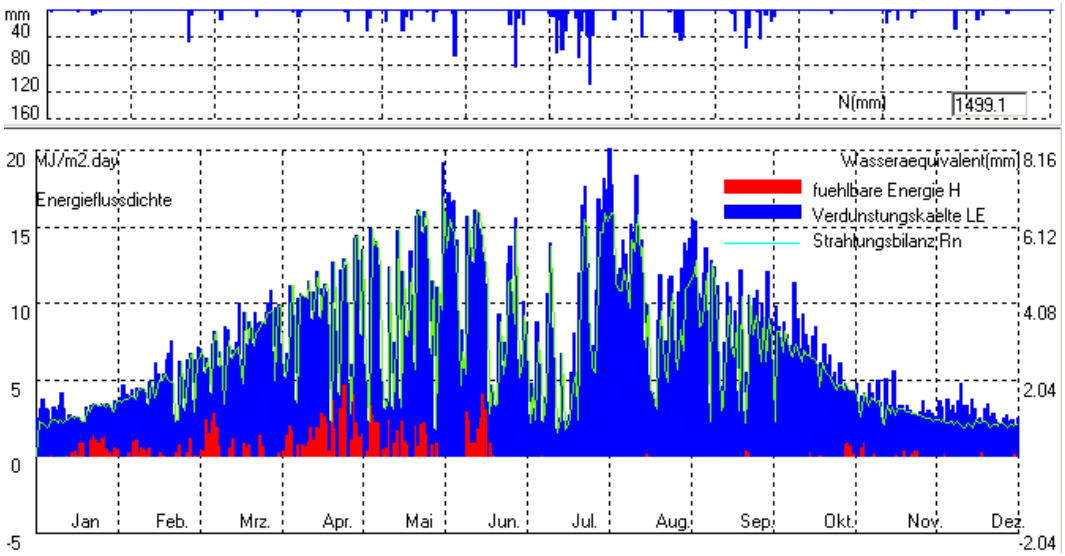


Abb. 6-11 Kombination von Strahlungsbilanz und Verdunstungskälte

In Seoul findet täglich von 7 bis 9 Uhr und von 12 bis 14 Uhr eine Reinigung der Strassen mit Wasser statt. Dabei werden 129 Waschwagen eingesetzt, die die Strassen mit Grundwasser aus U-Bahnstationen und Trinkwasser spülen. Die meisten U-Bahnstationen befinden sich im tiefen Grundboden in Seoul. Auf diese Weise kann auch die Staubbelastung in der Stadt reduziert werden. Und die entstehende Verdunstungskälte soll in den Sommermonaten zusätzlich das Stadtklima verbessern. Aber die Auswirkung der Kühlung ist noch nicht nachgewiesen.

Abb. 6-12 Reinigung der Strassen mit Wasser in Seoul Foto: http://eroom.korea-.com/inteltransys/446144

Für eine Strecke von 2 km werden dabei rund 7,5 m^3 Wasser verbraucht. Für diese Nutzung kann das Regenwasser großes Potenzial besonders gerade in den heissen Sommermonaten haben, wo es durch die regelmäßige Zisternenentleerung zur Bereitschaft für Hochwasserschutz dienen soll. Abbildung 6-12 zeigt ein solches Reinigungsfahrzeug bei der Arbeit in der Stadt Seoul.

6.2. Regenwassernutzung

In der Subroutine „Regenwassernutzung“ wird eine Bilanzierung zwischen dem Niederschlag und dem Betriebswasserbedarf durchgeführt. Bei dieser Bilanzierung können die Parameter Zulaufmenge, Speichergröße und Betriebswasserbedarf eingegeben und variiert werden. Die Zulaufmenge wird aus der Auffangfläche und dem

mittleren Abflussbeiwert, durch eine Multiplikation der Tagesniederschlagshöhe ausgerechnet. Die Dimensionen des Speichers werden mit der Maße der Tiefe und Sohlfläche, die einem prozentualen Anteil der Auffangfläche eingegeben wird, bestimmt. Dabei wird angenommen, dass das Regenwasser überläuft, wenn die Zulaufmenge die Speicherkapazität der Zisterne überschreitet. Der Betriebswasserbedarf ist in Abhängigkeit der entsprechenden Bedürfnisse einzugeben.
Auf Grundlage dieser Bilanzierung ist eine erste Abschätzung der notwendigen Trinkwassernachspeisung und der Zisternenablaufmenge möglich. Diese Ergebnisse ermöglichen auch die entsprechende Dimensionierung der Speicher.

6.2.1. Zulaufmenge und Speichergröße

Die Zulaufmenge wird durch Multiplikation der Auffangsfläche mit dem mittleren Abflussbeiwert beim Tagesdateninterval ermitteln. In diesem Zeitintervall ist die Abflussbildung und -konzentration zu vernachlässigen. Die folgende Tabelle 6-4 zeigt die empfohlenen, mittleren Abflussbeiwerte AB_m für bestimmte Einzugsgebiete. Mit diesen Werten wird dann die Zulaufmenge für unterschiedliche Arten der Befestigung ermittelt.

Tab. 6-4 Empfohlene mittlere Abflussbeiwerte AB_m von verschiedenen Einzugsgebietsflächen (ATV-DVWK-M 153)

Flächentyp	Art der Befestigung	AB_m
Schrägdach	Metall, Glas, Schiefer, Faserzement	0,9-1,0
	Ziegel, Dachpappe	0,8-1,0
Flachdach	Metall, Glas, Faserzement	0,9-1,0
(Neigung bis 3° oder ca. 5%)	Dachpappe	0,9
	Kies	0,7
Gründach	Humus < 10 cm Aufbau	0,5
(Neigung bis 15° oder ca. 25%)	Humus > 10 cm Aufbau	0,3
Straßen, Wege, Plätze (flach)	Asphalt, fugenloser Beton	0,9
	Pflaster mit dichten Fugen	0,75
	Fester Kiesbelag	0,6
	Pflaster mit offenen Fugen	0,5
	Lockerer Kiesbelag, Schotterrasen	0,3
	Verbundsteine mit Fugen, Sickersteine	0,25
	Rasengittersteine	0,15
Garten, Weiden, Kulturland mit möglichem Regenwasserabfluss in das Entwässerungssystem	Flaches Gelände	0,0-0,1
	Steiles Gelände	0,1-0,3

Das Regenwasser wird der Zisterne zugeführt, deren Dimension bereits vorgegeben ist. Ist kein Regenwasser in der Zisterne vorhanden, dann wird Trinkwasser nachgespeisst, um damit den Betriebswasserbedarf zu decken. Die berechneten Mengen der Trinkwassernachspeisung und der Überlaufmenge des Speichers werden im

Programm registriert und aufsummiert.

6.2.2. Betriebswasserverbrauch

Der durchschnittliche Wasserverbrauch koreanischer Privathaushalte wird mit ca. 233.3 Litern pro Einwohner und Tag angegeben(MOE, 2003). Das SDI (Seoul Development Institute, 2004) ermittelte in seinen Untersuchungen eine entsprechende Menge von ca. 200 Litern. Einen weiteren Anhaltspunkt für diese Größe bietet die Arbeit von Schütze(2004), der im Rahmen seiner Arbeit eine Menge von 208 Litern pro Person und Tag ermittelte. In der folgenden Tabelle sind die ermittelten Wasserverbräuche zusammengestellt.

Tab. 6-5 Durchschnittlicher Trinkwasserverbrauch pro Einwohner und Tag in Haushalten Deutschland und Korea

	Gesamt Wasser-verbrauch	Verteilung des Wasserverbrauchs (Liter)				
		Toiletten-spülung	Wäsche-waschen	Körper-hygiene	Kochen, Trinken	Reinigung, Bewässerung
Deutschland						
UBA(2006)	95 Liter	20 (21,1%)	12 (12,6%)	40 (42,1%)	13 (13,7%)	10 (10,5%)
Korea						
Ministeriy of Environment (2003)	233,3 Liter	63,2 (27,1%)	47,0 (20,1%)	61,1 (26,2%)	45,1 (19,3%)	16,9 (7,2%)
Schütze (2004)	208 Liter	66 (31,7%)	20 (9,6%)	80 (38,5%)	34 (16,4%)	8 (3,8%)
SDI (2004)	Gesamtwasserverbrauch -Mehrfamilienhäuser:196 Liter -Hochhäuser: 195 Liter -Einfamilienhäuser: 207 Liter					

Eine Aufteilung des Wasserverbrauches nach verschiedenen Haushaltstätigkeiten zeigt die Tab. 6-5. Dabei ist diese Aufteilung in der linken Abbildung für die Stadt Seoul und in der rechten für Berlin dargestellt.

Im Programm ist der Betriebswasserverbrauch je nach Planungsgrundlage beliebig und frei einzugeben. Dort stehen insgesamt 4 verschiedene Eingaberahmen (Toilettenspülung, Autowaschen, Hausreinigung und Gartenbewässerung) in einem Eingabefenster für den Betriebswasserverbrauch zur Verfügung (siehe Abb. 6-13). Der Tagesverbrauch wird über den Stundenfaktor in Stunden für die Tagesganglinie und über den Tagesfaktor in Tage für die Wochenganglinie eingeteilt.

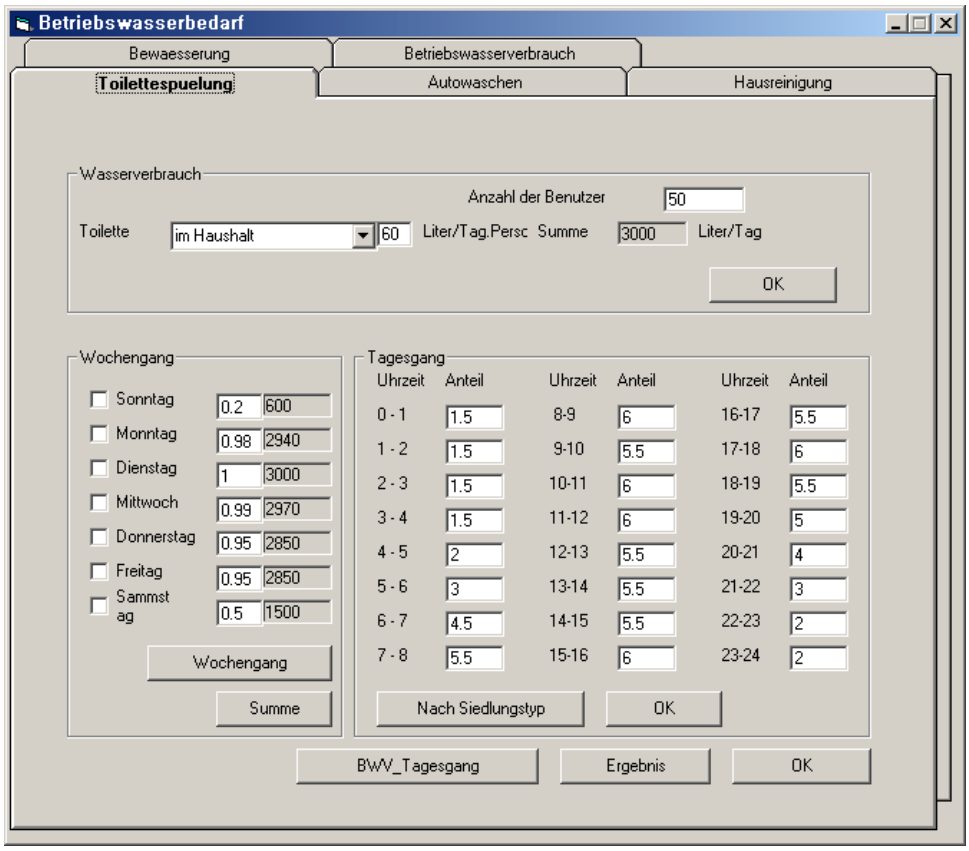


Abb. 6-13 Definition einer Wochen- und Tagesganglinie der Betriebswasserbedarf

In diesem Arbeitsrahmen wurde die Trockenwetterganglinie des Schmutzwasserabflusses nach Imhoff(1999) für die Aufteilung des Betriebswasserverbrauches in Toiletten berücksichtigt. Dies war möglich, da beide Größen einen engen Zusammenhang mit der Einwohneraktivität aufweisen. Die Trockenwetterganglinie wird meistens nach dem Lebensstil der Einwohner bzw. nach der Siedlungsform, z.B. Dorf, mittlere oder große Stadt, bestimmt. Für die Bestimmung der Wochenganglinie wurde der Wasserverbrauch beispielsweise am Dienstag als Tagesfaktor 1 festgesetzt. In Bezug zu diesem Tag werden nun die Tagesfaktoren der anderen Wochentage bestimmt. In dem erstellten Programm wurde der Betriebswasserverbrauch durch Toilettenspülung auf einen Wert von 60 Litern /(Tag, Person) gesetzt. Dies entspricht den Angaben des Ministeriums für Umwelt Koreas (2003). Die anderen 3 Wasserverbrauchs-Kategorien wurden bereits entsprechend der DIN 1989-1 im Eingaberahmen eingegeben. Die hier eingegebenen Daten können auch nach ortspezifischen Besonderheiten angepasst werden. Auf diese Art und Weise kann die angenommene Verteilung mit dem Stundenintervall des Betriebswasserverbrauchs für die Simulation definiert werden.

6.2.3. Ergebnisse der Bilanzierung

Nach der Definition und Eingaben des Betriebswasserverbrauchs werden die

Ergebnisse der Bilanzierung angezeigt. Die Abb. 6-14 zeigt die Verteilung des Wasserbedarfs beispielhaft für Dienstag.

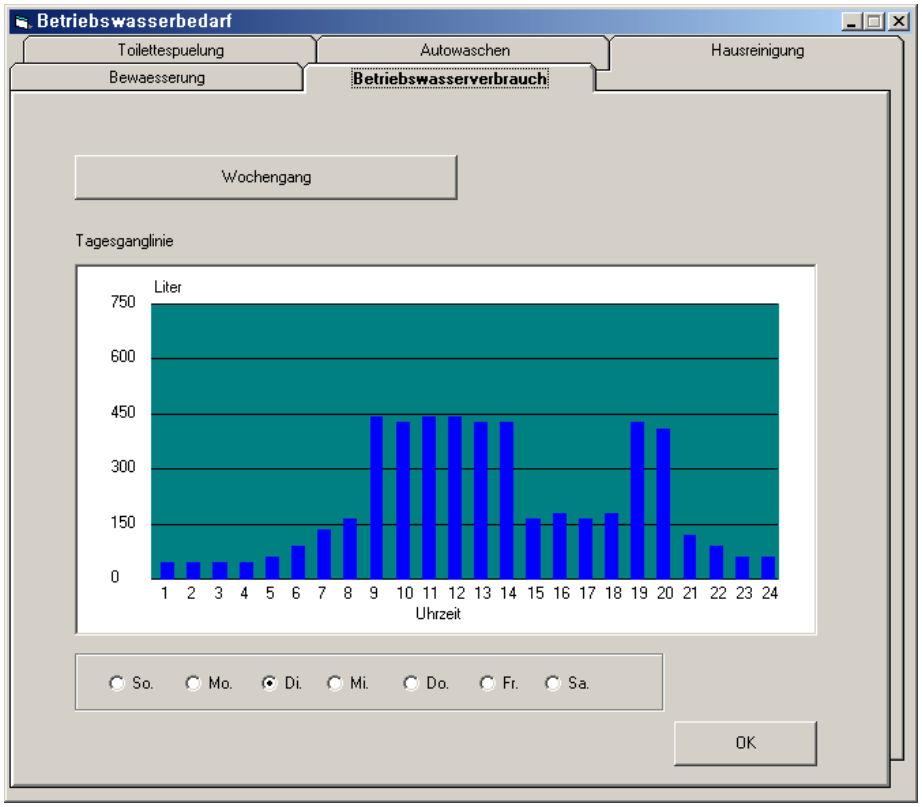


Abb. 6-14 Tagesganglinie des Betriebswasserbedarfs für 50 Personen

Die Berechung wird so durchgeführt, dass Zulauf, Speicherung, Verbrauch, Überlauf und Trinkwassernachspeisung zuerst auf Tagesebene berechnet werden. Im Anschluss werden diese Werte zu einer Monatssumme zusammengefasst. Der Minuswert (-) in dieser Bilanzierung steht für die angenommene Trinkwassernachspeisung. Der Pluswert (+) steht für Überschüsse von der Zisterne.

In der Abb. 6-15 bis 6-18 wird beispielhaft eine Anwendungsmöglichkeit aufgezeigt. Bei einer Speichervergrößerung von 60 m^3 auf 90 m^3, könnte die Summe des Überlaufes und der Trinkwassernachspeisung reduziert und mehr Regenwasser genutzt werden. Dadurch könnte die Anlage auf Tagesebene optimiert werden (Abb. 6-15 und 6-16).

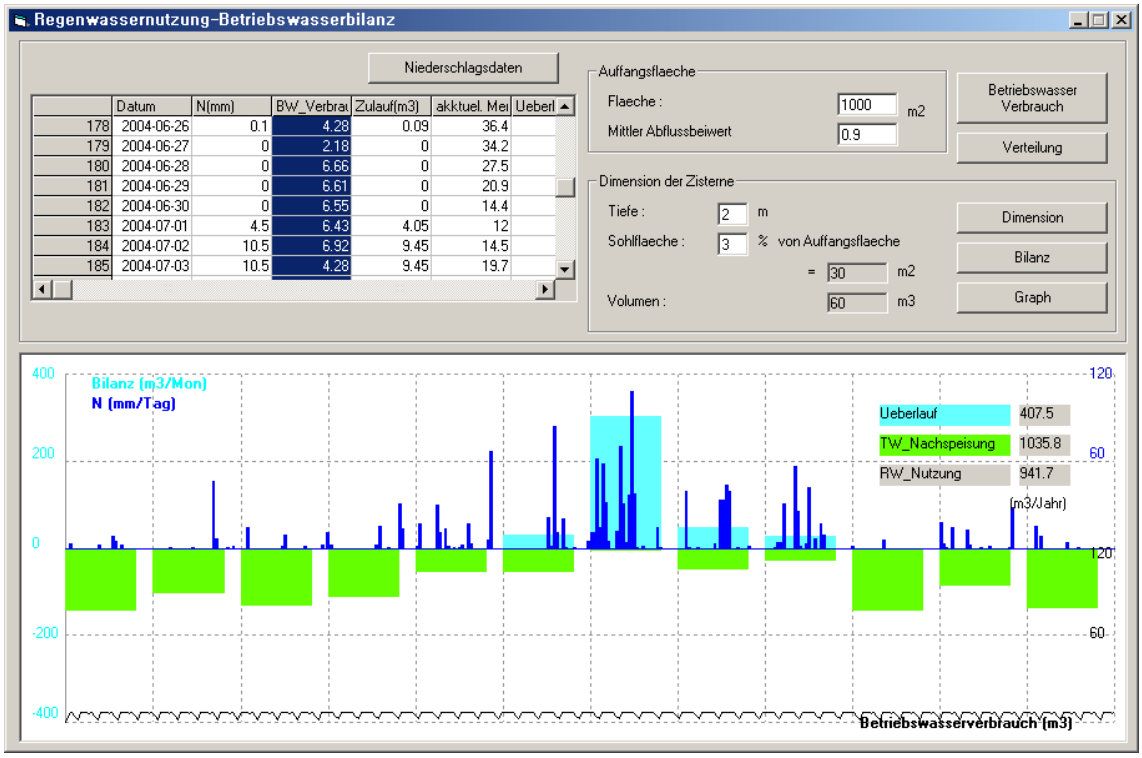


Abb. 6-15 Bilanz für 100 Bewohner mit Speichervolumen von 60 m^3 und Auffangsfkäche von 1.000 m^2 im Jahr 2004 in Seoul

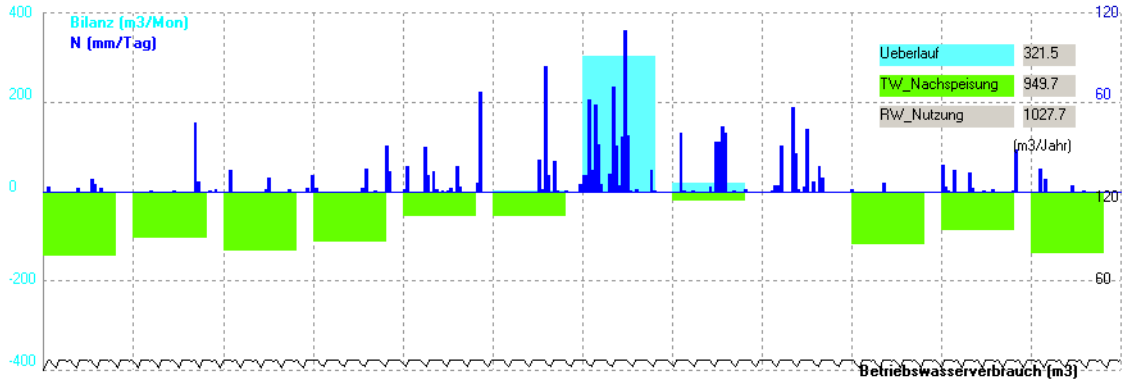


Abb. 6-16 Bilanz mit Speichervolumen von 90 m^3 und Auffangsfkäche von 1.000 m^2 in Seoul

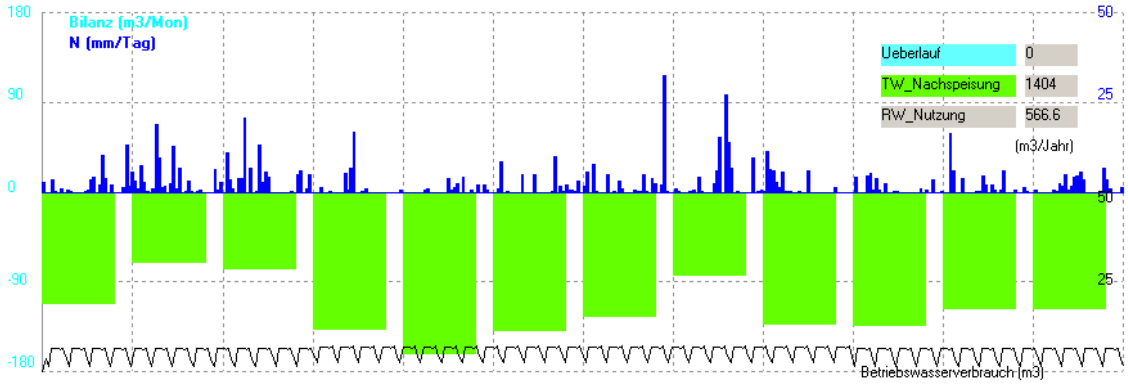


Abb. 6-17 Bilanz für 100 Bewohner mit Speichervolumen von 60 m^3 und Auffangsfkäche von 1.000 m^2 im Jahr 2000 in Berlin

Wegen der geringen Niederschlagsmenge in Berlin, ist nach dieser Simulation eine zusätzliche Menge von ca. 1.323,6 m^3 Trinkwasser zur Bedarfsbefriedigung notwendig (Abb. 6-17). Um die verfügbare Regenwassermenge zu erhöhen, kann die Auffangfläche von 1.000 auf 3.000 vergrößert werden (Abb. 6-18). Alternativ ist natürlich auch die Reduzierung der Verbrauchsmenge möglich.

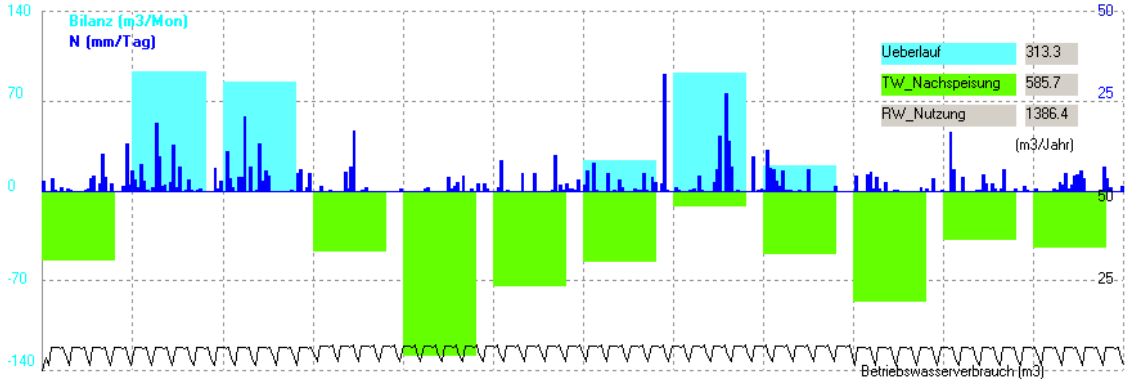


Abb. 6-18 Bilanz für 100 Bewohner mit Speichervolumen von 60 m^3 und Auffangfläche von 3.000 m^2 im Jahr 2000 in Berlin

Tab. 6.6 Bilanzierungsergebnisse für 100 Bewohner in Seoul und Berlin (m^3/Jahr)

	Überlauf	Trinkwasser-nachspeisung	Genutze Regenwassermenge
Speichervolumen von 60 m^3 und Auffangsfkäche von 1.000 m^2 Seoul	407,5	1035,8	947,7
Speichervolumen von 90 m^3 und Auffangsfkäche von 1.000 m^2 Seoul	321,5	949,7	1027,7
Speichervolumen von 60 m^3 und Auffangsfkäche von 1.000 m^2 Berlin	0	1404	566,6
Speichervolumen von 60 m^3 und Auffangfläche von 3.000 m^2 Berlin	313,3	585,7	1386,4

6.3. Versickerung

Die Subroutine „Wasserbilanz bei Versickerung“ basiert auf den in Kap. 5.4 vorgestellten Berechnungsansätzen. Es besteht aus den Fenstern „Bemessungsregen“, „Auffangfläche“ und „Dimensionierung der Mulde“. Der Bemessungsvorgang für das Speichervolumen der Versickerungsmulde geschieht unter Berücksichtigung der vorgegebenen und definierten Verhältnisse. Zu diesen Verhältnissen gehören die Durchlässigkeit, Auffangfläche und die Größe der versickerungswirksamen Fläche.

6.3.1. Bemessungsregen

Der koreanische Bemessungsregen von insgesamt 68 Städten wurde zum Teil neu aufgestellt und mit neu ermittelten Angaben überarbeitet(KICT, 2000). Im Anhang B dieser Arbeit ist als Beispiel der Bemessungsregen der Stadt Seoul aufgeführt. Die hier verwendete Einheit (in mm) unterscheidet sich von der Einheit (Liter/sec.ha) des DWD (Deutschen Wetterdienst). Um die Werte der beiden Städte Berlin und Seoul vergleichen zu können, wurden in der Abb. 6-19 drei Reihenfolgen der Regenspende parallel zueinander dargestellt. Dabei wurde auch die Einheit der koreanischen Werte in die der deutschen Werte (Liter/s·ha) umgerechnet.

Die Unterschiede zwischen beiden Datenreihen werden mit zunehmender Wiederkehrzeit und Regendauer immer größer. Hier ist die stärkere Niederschlags-intensität Koreas deutlich herauszulesen.

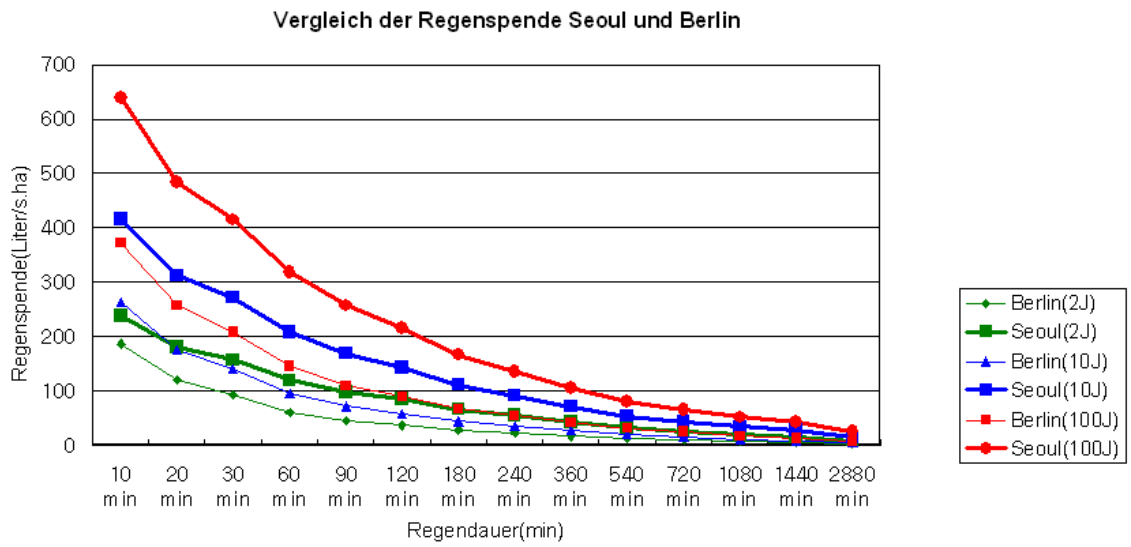


Abb. 6-19 Vergleich der Regenspenden zwischen Seoul und Berlin (Einheit: Liter/s•ha)

Die Regenspendedaten können in Form einer einfachen Textfile-Datei (.txt) mit Hilfe des Fensters „Eingabe-Regenspende“ aufgerufen werden. Danach werden sie für die weitere Berechnung verwendet.

6.3.2. Auffangfläche

Für die Ermittlung der Abflussmenge von befestigten Flächen dient in diesem Programm der mittlere Abflussbeiwert AB_m.
Aus der Summe aller übrigen angeschlossenen Teilflächen $A_{E,i}$ ergibt sich die gesuchte Größe der undurchlässigen Fläche A_u. Für diese Flächen wird in der Regel ein Abflussbeiwert von $AB_m = 1$ angenommen (ATV-DVWK-M 153). Der empfohlene mittlere Abflussbeiwert AB_m ist bereits in der Tab. 6-4 aufgezeigt. Die maßgebende undurchlässige Fläche ergibt sich aus der Summe aller angeschlossenen Teilflächen, die mit dem zugehörigen mittleren Abflussbeiwert multipliziert sind. Es gilt:

$$A_u = \sum (A_{E,i} \cdot AB_{m,I}) \qquad \text{(Gl. 6-3)}$$

Bei der Planung von Regenwassernutzungsanlagen sind bezüglich der Flächen, die zur Sammlung von Regenwasser genutzt werden, verschiedene qualitative und quantitative Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Unter qualitativen Gesichtspunkten sind die Auffangflächen in Abhängigkeit von der Anlagentechnik zur Aufbereitung des Regenwassers sowie der beabsichtigten Nutzung zu beurteilen. Grundsätzlich sollten immer möglichst gering belastete Flächen genutzt werden. Falls es aufgrund eines hohen Betriebswasserbedarfs sinnvoll ist, können auch partiell stärker verschmutzte Auffangflächen (z.B. Verkehrsflächen) genutzt werden, wenn eine entsprechende Aufbereitung in Abhängigkeit von der Nutzung stattfindet. (DIN 1989-1, 2002)
Im „Einzugsfläche-Ermittlungsfenster“ dieser Subroutine wird zuerst die insgesamt angeschlossene Fläche eingegeben. Danach werden die Anteile der Flächen, je nach vorgegebener Definition des Flächentyps sowie der Art der Befestigung eingegeben und nachträglich definiert (Tab. 6-4). Schließlich wird unter Berücksichtigung des Abflussbeiwertes die maßgebende undurchlässige Fläche ermittelt (Abb. 6-20).
In der Tab. 6-4 wurden alle Flächentypen und Arten der Befestigung beschrieben, die in diesem Fenster ausgewählt werden können.

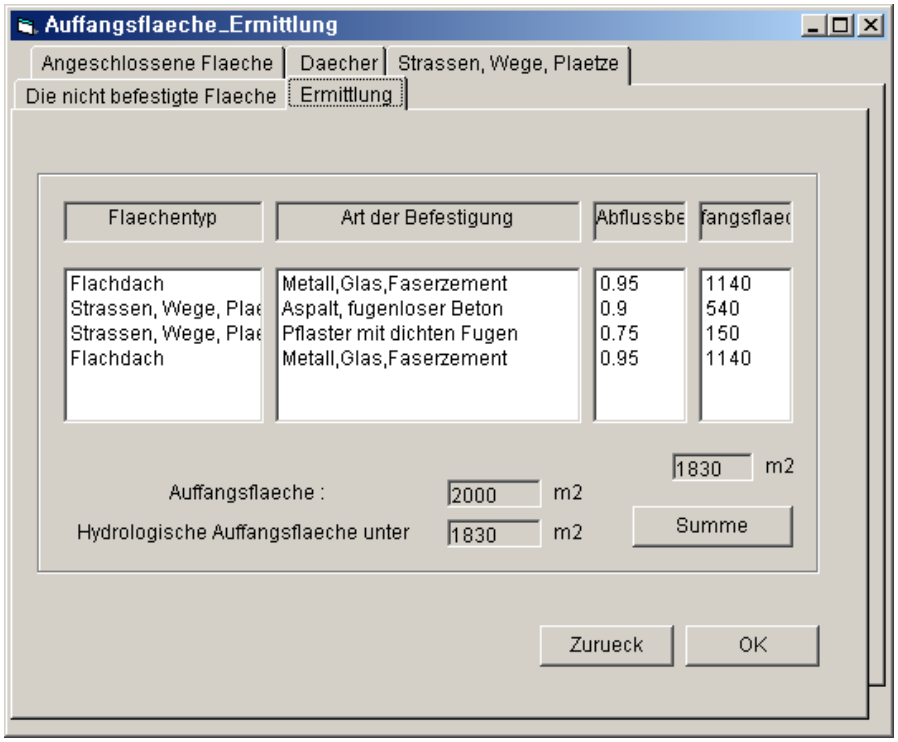


Abb. 6-20 Ermittlung der maßgebenden undurchlässigen Fläche

6.3.3. Dimensionierung der Anlage

Im Arbeitsfeld „Bedingungen“ werden die Bodendurchlässigkeit nach Bodenart, die Wiederkehrzeit in der Regenspende sowie der Zuschlagsfaktor nach ATV-DVWK-A117 bestimmt. Beispielsweise wurden hier Lehmigen Sand, 5 Jahre und Zuschlagsfaktor 1.2 ausgewählt. Danach wird im Arbeitsfeld „Auffangfläche“ die angeschlossene Fläche, mit der im Fenster „Auffangsfläche-Ermittlung“ bestimmten Auffangfläche in Verbindung gesetzt. In unserem Beispiel wurde eine maßgebende undurchlässige Fläche mit einer Größe von 1.223,31 m^2 angenommen. Die einzelnen Schritte sind im Anhang dokumentiert.

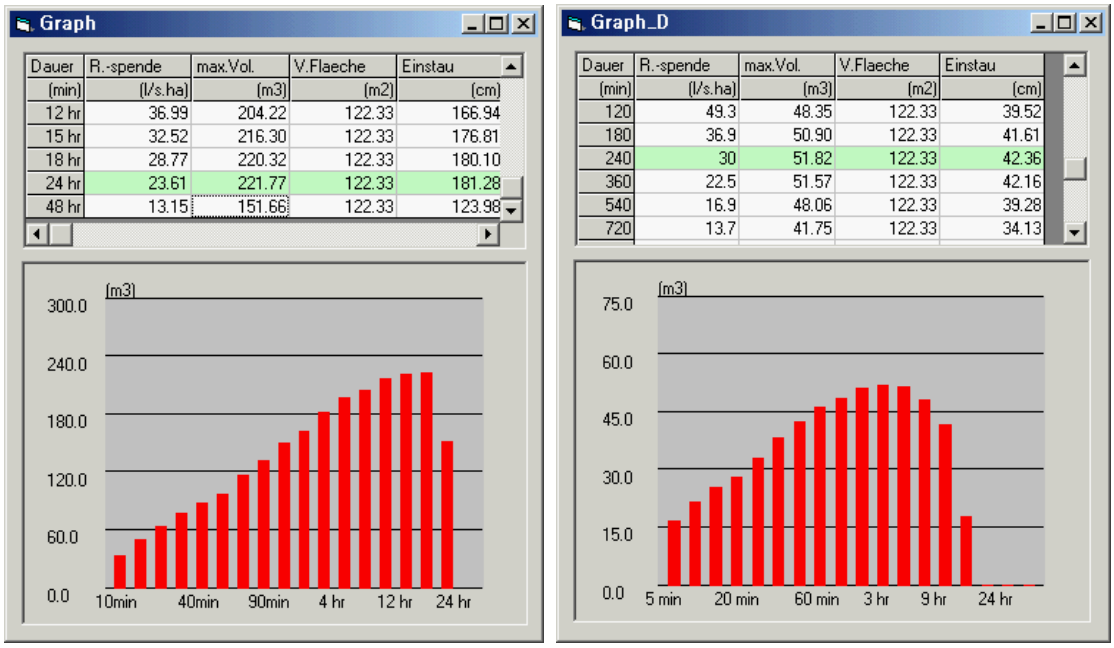


Abb. 6-21 Vergleich der erforderlichen Speichervolumia unter koreanischen(links) und deutschen Regenspenden bei gleichen Bedingungen

Bei der Bemessung ist die maßgebende Dauer des Bemessungsregens zunächst unbekannt. Sie ergibt sich durch eine wiederholte Lösung der Gl. (5-37), wobei für $r_{D(n)}$ die Regenspende der Dauerstufe D und der Häufigkeit n einzusetzen ist. Maßgebend ist diejenige Regendauer D, für die sich mit Gl. (5-37) das maximale Speichervolumen V ergibt. Dies ist auch gleichzeitig das erforderliche Speichervolumen.

Tab. 6-7 Vergleich des erforderlichen Speichervolumens Seoul und Berlin

	Seoul	Berlin
Regendauer D	24 hr	240 min
Regenspende	23,61 Liter/s ha	30 Liter/s ha
Das erforderliche Speichervolumen	221,77 m^3	51,82 m^3
Versickerungsfläche	122,33 m^2	122,33 m^2
Einstauhöhe	181,28 cm	42,36 cm

Für die koreanischen Regenspendedaten ergibt sich so ein Speichervolumen von ca. 221,77 m^3, bei einer Regendauer von 24h. Im Verhältnis dazu beträgt das erforderliche Speichervolumen für Berlin nur ca. 51,82 m^3 bei einer Regendauer von 6 h (Abb. 6-21). Auf die Niederschlagsintensität ist die Unterschiede des erforderlichen Speicher-volumens und der Einstauhöhe zurückzuführen.

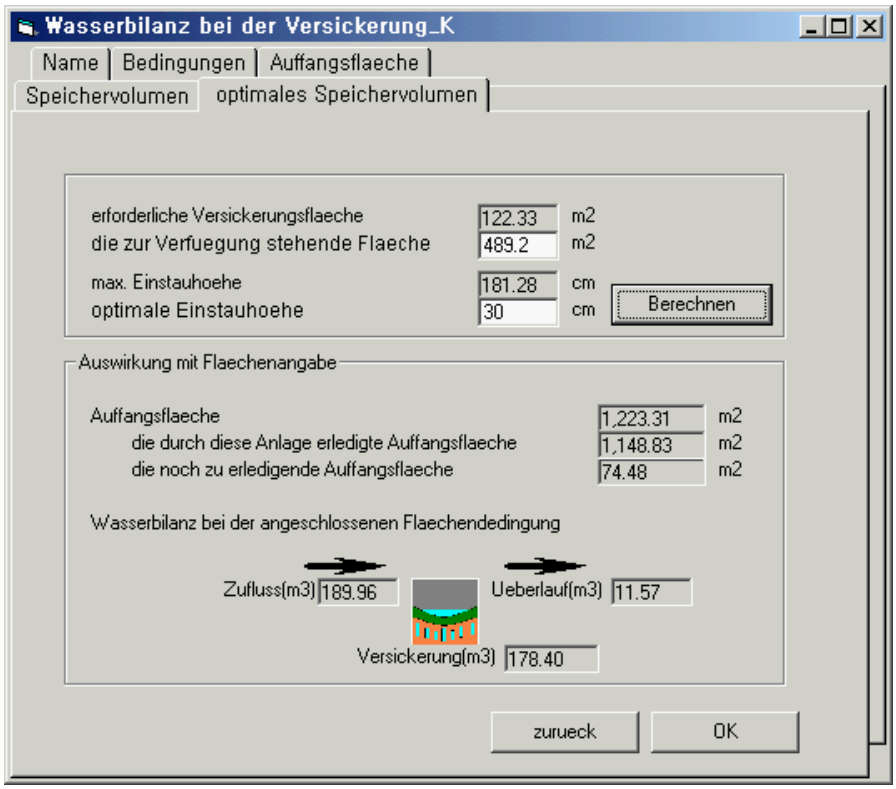


Abb. 6-22 4 facher Flächenbedarf bei der Versickerung unter koreanischen Regenspende

Wenn man unter koreanischen Bedingungen ebenfalls mit einer Einstauhöhe von 30 cm arbeiten will, dann ist eine Versickerungsfläche von ca. 489,2 m^2 für die angeschlossene Auffangfläche von ca. 1.233,3 m^2 erforderlich. Diese Versickerungsfläche entspricht ca. 40% der Auffangfläche und ist damit ca. 4-mal größer als die in Berlin erforderliche Fläche (Abb.6-22). Bei einem Boden aus Mittel- und Feinsand sind in Deutschland in der Regel die Versickerungsflächengröße ca. 10% von der Auffangfläche erforderlich. Daher kann als Faustregel für koreanische Niederschlagsintensität die Versickerungsflächengröße von ca. 40% von der Ausfangfläche bestimmt werden. In dieser Subroutine wurde zusätzlich ein neuer Berechungsvorgang „Optimales Speichervolumen“ entwickelt.

Aufgrund der hohen Niederschlagsintensität in Seoul ergab sich das erforderliche Speichervolumen zu groß, wenn man den Abfluss aller Auffangsflächen aufnehmen will. In diesem Vorgang sind die für die Versickerungsanlage zur Verfügung stehende Fläche und die erlaubte Einstauhöhe zuerst einzugeben. Mit den von Verfasser umformulierten Gl. 6-5 aus der Gleichung Gl. 5-37 kann man die passende undurchlässige Teilfläche der Auffangfläche bestimmen.

$$A_u = \frac{V_s + A_s \cdot \frac{k_f}{2} \cdot T \cdot 60 \cdot f_Z}{10^{-7} 2.778 \cdot rk_{T(n)} \cdot T \cdot 60 \cdot f_Z} - A_s \quad \text{(Gl. 6-5)}$$

A_u:	undurchlässige Fläche	[m^2]
V_s:	Speichervolumen	[m^3]
A_s:	verfügbare Versickerungsfläche	[m^2]
$r_{D(n)}$:	maßgebende Regenspende	[l/(s·ha)]
$rk_{D(n)}$:	koreanische Regenspende	[mm/hr]
k_f:	Durchlässigkeitsbeiwert der gesättigten Zone	[m/s]
T:	Dauer des Bemessungsregens	[min]
f_z:	Zuschlagsfaktor gem. ATV-DVWK-A 117	[-]

Das Regenwasser, das hier mit der Speicherkapazität nicht aufgenommen werden kann, soll dann in die konventionelle Kanalisation eingeleitet oder einer 2. dezentralen Maßnahme z.B. einer anderen Versickerungsanlage oder Nutzungszisterne zugeführt werden. Dabei ergibt sich die Menge dieses Regenwassers mit der Einheit der „Auffangflächen“ mit Hilfe dieses Berechungsvorganges. In diesem Beispiel sind die 512, 40 m^2.

7. Simulationspaket „RainCity-Combi“ für die Dimensionierung der kombinierten Maßnahmen bei der Umsetzung in Korea

7.1. Simulationsgrundlage

7.1.1. Zielsetzung der Simulation

Das Simulationspaket ermöglicht die exakte Dimensionierung zweckmäßig kombinierter Maßnahmen unter Berücksichtigung der klimatischen und infrastrukturellen Bedingungen Koreas. In diesem Paket wurden weiterhin die häufig auftretende und extrem hohe Niederschlagsintensität in den Sommermonaten sowie die Knappheit der für dezentrale RWB-Anlangen zur Verfügung stehenden Räume berücksichtigt. Aus verschiedenen Kombinationsvarianten, die mit Hilfe des Simulationspaketes A als geeignet identifiziert wurden, wurde eine Variante als Simulationsobjekt ausgewählt und programmiert.
Das Ziel des Paketes ist das Schaffen einer Entscheidungshilfeprozedur, um die folgenden Fragen nachvollziehbar zu beantworten.

1) Welche Auswirkungen sind von den geplanten Anlagendimensionen und -kombinationen zu erwarten?
2) Welche Anlagendimensionen und -kombinationen sind zum Erreichen bestimmter hydrologischer und stadtökologischer Ziele geeignet und welche dieser Varianten sind aus wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen?

Hier wurden der Deckungsgrad des Betriebswasserverbrauchs durch Regenwasser, die Reduzierung der Spitzenabflüsse sowie der Anteil des versickerten Regenwassers an der jährlichen Niederschlagsmenge als hydrologische und stadtökologische Auswirkungen und Ziele betrachtet.

Um die o.g. Fragestellungen zu beantworten, wurden 2 Simulationsmodule entwickelt.
Für die erste Frage stehen das „Dimension-Auswirkung-Modul“ zur Verfügung. In diesem Modul kann die Auswirkungen mit Lastfallkonzept und kontinuierlicher Simulation ermittelt werden. Mit Hilfe des auf der Grundlage statistischer Regendaten basierenden Lastfallkonzeptes kann die Überlaufwahrscheinlichkeit geplanter Zisternen je nach Wiederkehrzeit prognostiziert werden. Weiterhin ist es auf Grundlage einer kontinuierlichen Simulation mit stündlichen Regendaten möglich, den Anlagenfüllstand, die Zu- und Ablaufintensität sowie das Verhalten der Anlagenkombination auf Stundenbasis zu betrachten und zu bewerten.
Zu Beantwortung der zweiten Frage eignet sich das „Auswirkung-Dimension-Modul“. Aus der Dimensionierungsdatenbank, die durch das Programm erzeugt wird, können

zunächst auf Grundlage der eingegebenen Rahmenbedingungen geeignete Anlagedimensionen ermittelt werden. Nach der anschließenden Durchführung einer „Kosten-Nutzen-Analyse“ ist es möglich, die wirtschaftlich günstigste dieser Varianten zu ermitteln (Kap.7.4.).

7.1.2. Kombination der Anlagekomponenten

Für Regenwassernutzung ist zunächst eine Zwischenspeicherung in einer Zisterne notwendig. Dieses Speichervolumen kann auch als aktiver Retentionsraum genutzt werden. Besonders bei der extrem hohen Niederschlagsintensität in Korea ist diese Funktion sehr vorteilhaft. Die Bereitstellung von zwei durch eine Scheidewand getrennten Speicherräumen in den Zisternen lässt zusätzlicher Pufferraum erstellen (siehe auch Kap. 7.2.2). Dieses Konzept wurde auch von Kim(2003) in Betracht gezogen (Abb. 7-1). Er hat die Volumenverteilung des Speichers für Trockenperiode und Hochwasserperiode pauschal 1 zu 2 vorgestellt.

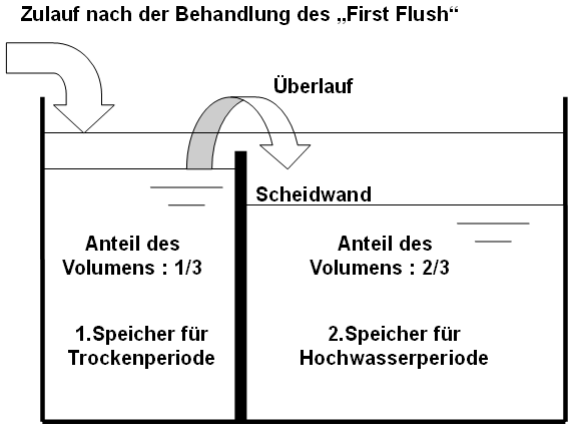


Abb. 7-1 Speicher mit Abscheidewand für die Trocken- und Hochwasserperiode(Kim, 2003)

Um beim Hochwasser und Dauerregen ausreichendes Pufferraum zu schaffen, ist es weiterhin notwendig, das gesammelte Wasser rechtzeitig einer bestimmten Verwendung zuzuführen oder die Zisterne zu entleeren. Dafür ist neben der üblichen Regenwassernutzung für Toilettenspülung, Reinigung und Bewässerung der Einsatz der Notpumpen bei Hochwasseralarm denkbar. Dazu erhöht der zusätzliche Verbund mit Versickerungsblockes die Versickerungsmenge.

Während die Verbrauchsmenge bei der Nutzung wie z.B. durch Toilettenspülung täglich relativ konstant bleibt, erreicht die potenzielle Evapotranspiration den maximalen Wert bei der Wachstumsphase in den Sommermonaten. Daher entspricht die mögliche Verbrauchskurve der sommerlichen Bewässerung von Dachbegrünungen und teilversiegelten Flächen mengenmäßig der Tendenz des Regenwasserangebotes in Korea. In der Praxis ist eine zusätzliche Bewässerungsanlage für begrünte Dächer und teilversiegelte Parkplätze üblich in Korea. Daher ist die Integration der Komponent

„Verdunstung“ von Bedeutung in Korea.

Für die Entwicklung der konzeptionellen Kombination von Anlagekomponenten wurde das Strukturdiagramm(Abb.4.3) vom Geiger und Dreiseitl(1995, 2001) zugrunde gelegt. Darauf werden die o.g. Punkte in Betracht gebracht. Um das Strukturdiagramm(Geiger, 1995, 2001) an die koreanischen Bedingungen anpassen zu können, wurde die Funktionen von Retention, Nutzung und Verdunstung in der Planungsstruktur in Abb. 7-2 neu erfasst und die Notpumpe und Versickerungsblock konzeptionell integriert. In diesem Strukturdiagramm wurde es so geplant, dass die gering belasteten Regenabflüsse aus Dachflächen ins System kommen. Daher ist die Vorbehandlungs-maßnahme minimal integriert.

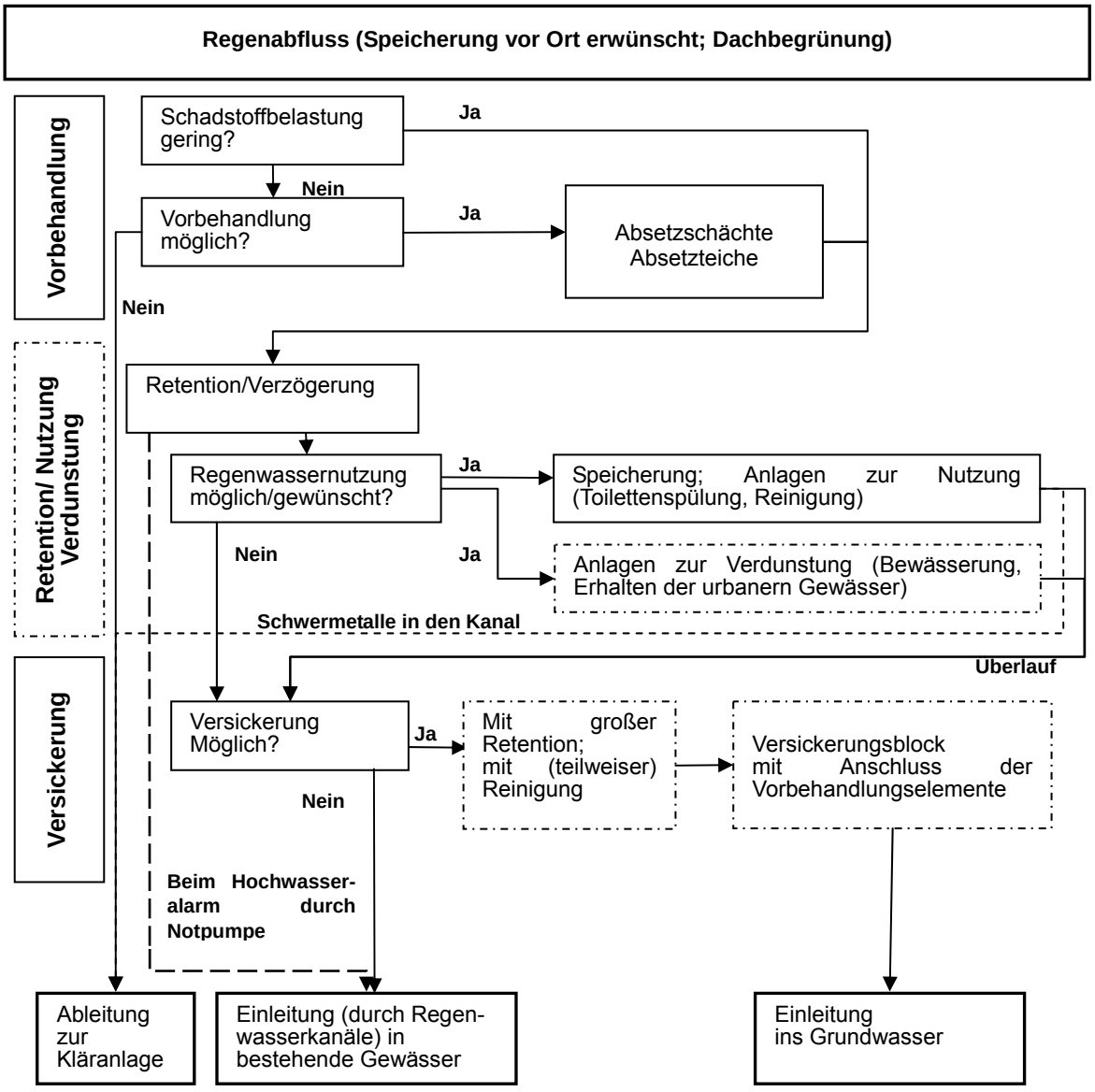
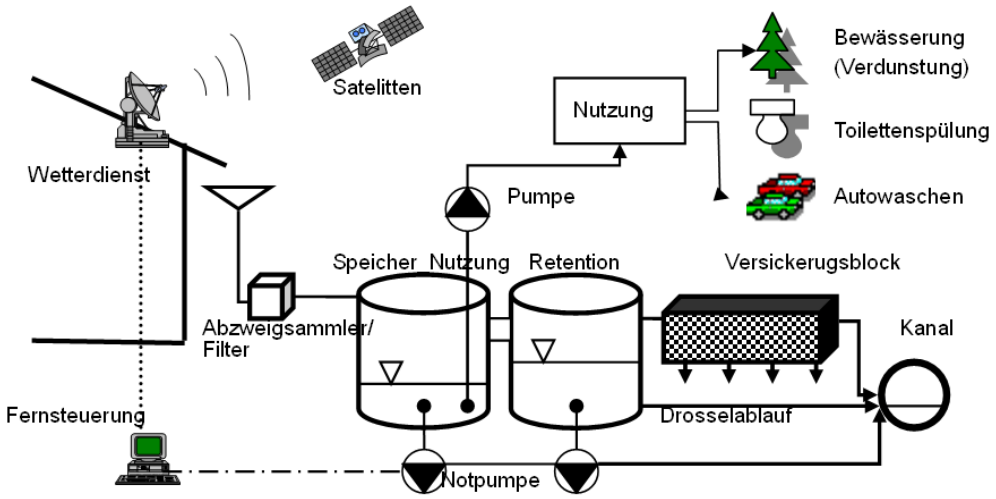


Abb. 7-2 Strukturdiagramm für Planung der dezentralen RWB in Korea nach Geiger und Dreiseitl (1995, 2001), verändert von Kwon

Die Verminderung der Einträge der Schwermetalle in die Gewässer bei Trennkanalisation kann dadurch erreicht werden, dass die Abflüsse auf der Strasse über die Regenwassernutzungsanlage in die Kläranlage eingeleitet werden. In

Diagramm in der Abb. 7-2 ist dieser Vorgang gestrickelt.

Aus diesem Diagramm wurde die schematische Darstellung einer Kombinationsvariante ermöglicht (Abb. 7-3). Diese Variante ist Hauptstruktur für den Berechungsansatz im Simulationspaket „RainCity-Combi“.



- Verbund mit Versickerungsblock
- 2 Speicher für Nutzung und Retention
- Drosselablauf für kontinuliche Entleerung
- Notpumpe durch Fernsteuerung bei Hochwasseralarm des Wetterdienstes

Abb. 7-3 Schematische Darstellung der Kombination von Anlagen der dez. RWB unter koreanischen Klimabedingungen mit großen Niederschlagshöhen und -intensitäten

7.1.3. Simulationsalgorithmen

In der Abb. 7-4 ist das Fließschema der Berechnungsalgorithmen des Simulationspaket „RainCity-Combi“ dargestellt. Das Fließschema enthält die Programmbausteine für die Berechungen von Zulauf, Speicheränderung, Überlauf, Betriebswasserbedarf, Drosselablauf, Versickerung und Notpumpeneinschaltung nach Hochwasseralarm. Die einzelnen Anlagekomponenten auf der Basis dieses Fließschemas werden mit ihrer Zu- und Ablaufverhalten in Kap. 7.2 beschrieben.

Das Paket „RainCity-Combi“ besteht aus einer Subroutine und zwei Modulen. Mit der Abgrenzungssubroutine wird die erste Dimensionierung der Komponenten auf der Tagesbasis der Niederschlagsdaten übersichtlich und schnell durchgeführt.

Im „Dimension-Auswirkungs-Modul“ sind zwei unterschiedliche Berechnungsvorgänge möglich. Durch das Lastfallkonzept mit den Regenspendedaten ergibt sich die Möglichkeit, die Simulationsergebnisse mit vorhandenen Kanalbemessungsgrundlagen zu verknüpfen. Die kontinuierliche Simulation auf Grundlage stündlicher Niederschlagsdaten kann dabei als ein Nachweisverfahren dienen (siehe Kapitel 7.3.1).

Im „Auswirkung-Dimension-Modul“ werden nach der Abgrenzung die entsprechend gestuften Dimensionierungen der Anlagekomponenten, die in der Abb 7-4 markiert sind, automatisch in die Simulation übertragen. Durch die Simulation wird die Dimensionierungsdatenbank (siehe Kapitel 7.4.2) erstellt. Aus dieser Datenbank

können dann die jeweils passenden Anlagengrößen entsprechend den jeweiligen Zielen abgerufen werden. Im letzten Schritt werden die geeigneten Kombinationen einer „Kosten-Nutzen-Analyse“ unterzogen und die wirtschaftlich günstigste ermittelt.

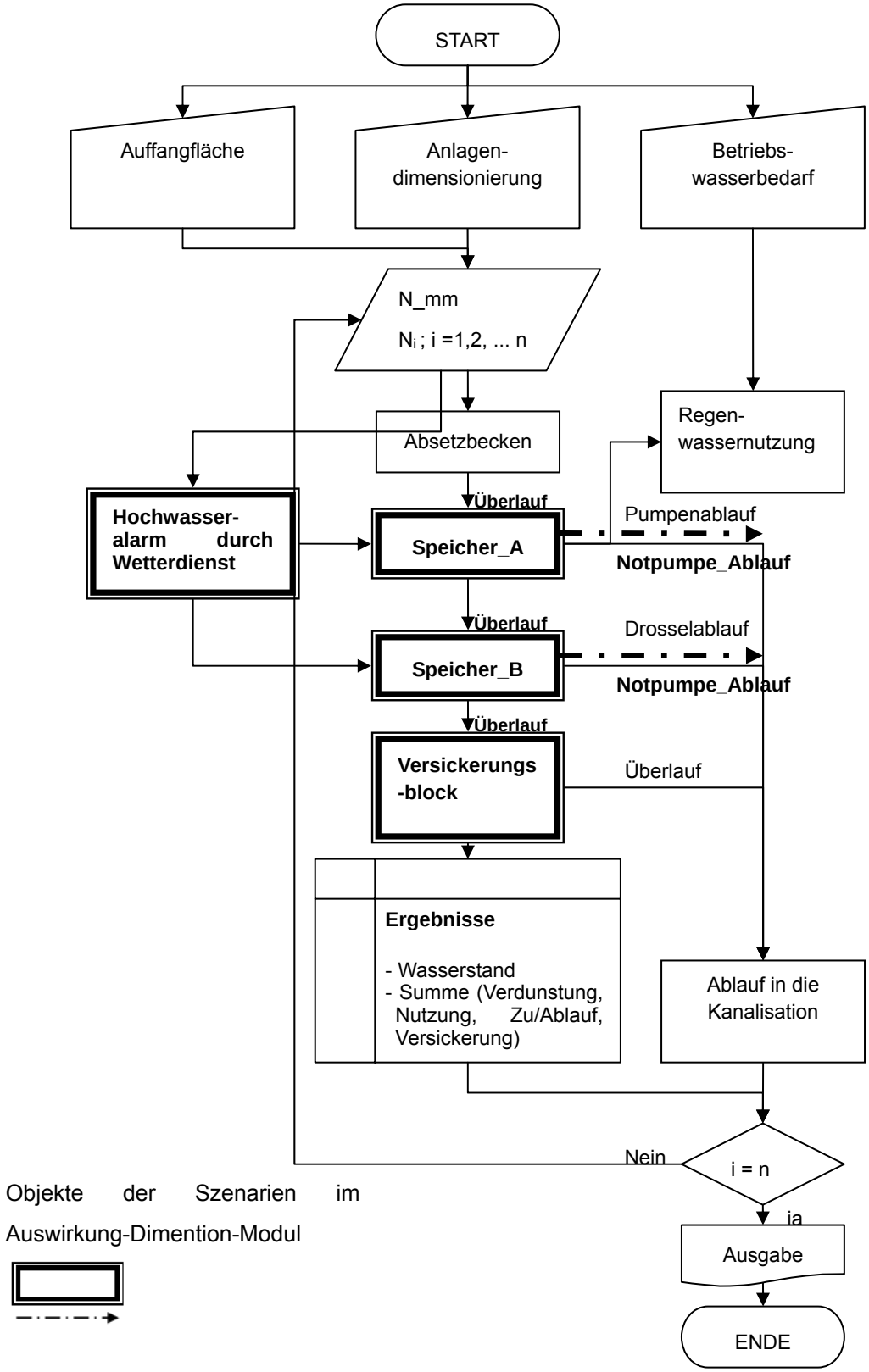


Abb. 7-4 Flußdiagram für die Durchführung der Simulation

7.2. Beschreibung der Komponenten

Die folgenden Abschnitte beschreiben die Funktionen und Bemessungsgrundlagen der einzelnen Anlage.

7.2.1. Absetzschacht

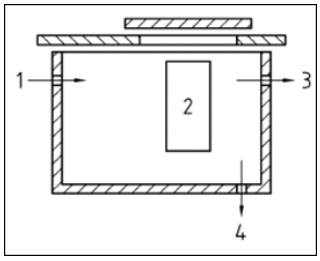
Die Ableitung des Regenwassers vom Dach zum Speicher erfolgt meist über Regenfallrohre aus PVC. Eine oberflächliche Ableitung in offenen Rinnen oder durch das Abzweigrohr vom vorhandenen Regenwasserkanal in den Sammelbehälter ist ebenfalls denkbar. Teilweise können in den Zuleitungsrohren Vorrichtungen integriert werden, mit denen eine Reinigung des Dachablaufwassers erreicht werden kann. Dies können Siebe, Filter, Weichen oder Kombinationen aus diesen Elementen sein.

Die genannten Sammel- und Reinigungsvorrichtungen wurden gemäß ihren hydraulischen Wirkungen von Hermann und Schmida (1996) in vier Typen gegliedert. Diese Unterteilung wird in der folgenden Tabelle 7-1 vorgestellt.

Tab. 7-1 Sammel- und Reinigungsvorrichtungen nach 4 Typen (Herrmann und Schmida. 1996-1)

Typen	Sammel- und Reinigungsvorrichtungen
Typ A Fallrohrabzweig	Die einfachste Bauart dieser Sammelvorrichtung entstand aus der Fallrohrklappe. Durch die im Fallrohr fest zu installierende Trennvorrichtung wird das, an der Innenwandung des Fallrohrs, anfließende Wasser durch einen Rohrstutzen nach außen geleitet.
Typ B Sammler mit Teilabfluss	Ein Teilstrom wird über das Sieb dem Speicher zugeleitet, der andere Teil fließt mit den separierten Stoffen der Entwässerungsanlage zu.
Typ C Weiche mit Erstverwurf	Eine mechanisch oder elektronisch gesteuerte Weiche im Fallrohr oder Bodenbereich wird in die Zuleitung zum Speicher eingebaut und leitet den Erstniederschlag ins Kanalnetz ab. Im Anschluss schaltet die Weiche auf den Speicher um.
Typ D Reinigungsvorrichtungen ohne Teilabfluss	Alle Vorrichtungen, die im Regelbetrieb den gesamten Abfluss zum Speicher weiterleiten und nur für den Versagensfall einen Überlauf in die Entwässerungsanlage aufweisen (z.B. Absetzschächte, Filterkammer mit Sieben, Geweben oder losen Filtermassen).

Der hydraulische Wirkungsgrad des Systems ist nach Gl. 7-1 zu ermitteln (DIN, 2004).



Legende
1. Zulauf in den Filter
2. Filterelement
3. Ablauf (Fremdstoffableitung)
4. Speicherzulauf

Abb. 7-5 Eine Prinzipskizze von 3 Filtertypen nach DIN 1989-2

$$\eta_{hydr} = \frac{Q_{zu} - Q_{ab}}{Q_{zu}} \quad \text{(Gl. 7-1)}$$

Q_{zu}: der dem Filtersystem zugeführte Volumenstrom［Liter/s］

Q_{ab}: der vom Filtersystem in den Ablauf (z.B. Kanal, Versickerungsanlage) abgeführte Volumenstrom［Liter/s］

Die Zuflussmenge in den Speicher wird in Abhängigkeit vom hydraulischen Wirkungsgrad des Filtersystems bestimmt. In diesem Simulationspaket wurde beispielsweise ein Absetzschacht ausgewählt, in dem grobe Stoffe wie Sand und Kies abgesetzt werden. Es ist angenommen, dass alle Abflüsse von angeschlossenen Reinigungsvorrichtungen in den Speicher mit einem hydraulischen Wirkungsgrad von 1,0 komplett in den Speicher zufließen.

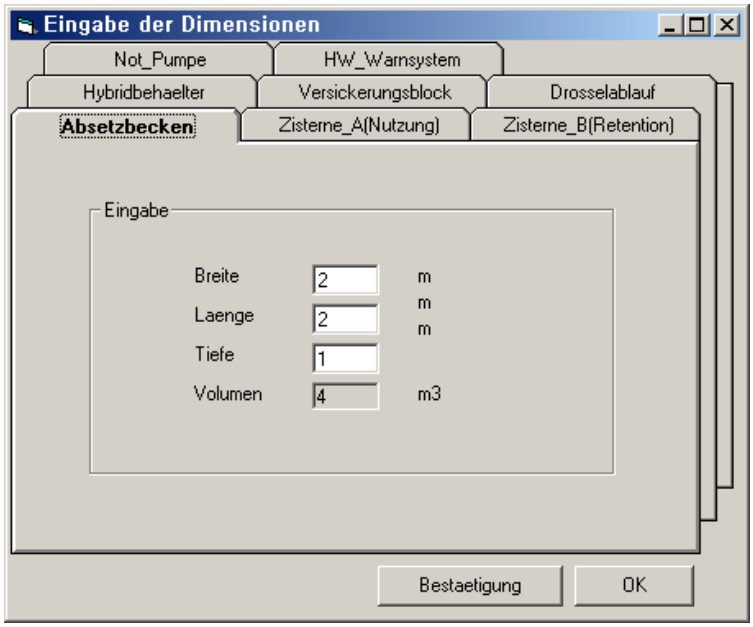


Abb. 7-6 Dimensionseingabe für Absetzbecken

7.2.2. Speicher

Als Speicher eignen sich unterirdisch verlegte oder im Keller aufgestellte Beton- und Kunststofftanks. Auch stillgelegte Sammelbehälter (Öl, Abwasser) können nach sorgfältiger Reinigung als Regenwasserzisternen dienen. Die Hauptfunktionen der Regenwasserspeicher sind das Sammeln des Regenwassers für die Betriebswassernutzung und die Verminderung der Spitzenabflussmenge bei Starkniederschlagsereignissen in den Sommermonaten. Das Speichervolumen sollte so gewählt werden, dass der Spitzenabfluss bei Starkregen effizient vermindert und ein möglichst hoher Deckungsgrad des Betriebswassers in der gesamten Wasserbilanz erreicht wird. Bei zu kleinen Speichern muss häufiger Trinkwasser nachgespeist werden, was zu einem unwirtschaftlichen Betrieb führen kann. Bei Starkregen spielt er bei der Verminderung des Spitzenabflusses auch fast keine Rolle. Zur Vermeidung

hoher Bau- und Betriebskosten sollte das Volumen allerdings auch nicht zu groß gewählt werden. Die in dieser Arbeit näher betrachtete Anlagenkombination enthält ein Speicherkonzept mit 2 Zisternen, die miteinander durch einen Überlaufanschluss verbunden sind. Die vorgeschaltete Zisterne (der Nutzspeicher) dient dem Sammeln des Zulaufwassers für die Betriebswassernutzung. Die nachgeschaltete Zisterne (der Pufferspeicher) dient der temporären Speicherung. Ein Drosselablauf vom diesem Pufferspeicher sorgt dafür, dass ein ausreichend großer Speicherraum durch eine stetige Entleerung immer vorhanden ist. An den beiden Speichern werden auch die Notpumpen angeschlossen, um mehr Speicherkapazität zu schaffen.

a) Nutzspeicher - Zisterne A

Von der Zisterne A wird das Regenwasser auch in den Tagesbehälter nach der Änderung des Wasserstandes regelmäßig gepumpt, von wo es für den weiteren Gebrauch entnommen wird. Die Zuflussmenge und die bereits im Speicher vorhandene Wassermenge werden addiert und die Summe wird im Anschluss mit dem vorgegebenen und beliebig einzugebenden Speichervolumen verglichen. Die Überschüsse werden in die zweite angeschlossene Zisterne (Pufferspeicher) weitergeleitet. Das verbleibende Regenwasser steht zur Entnahme als Betriebswasser im Tagesbehälter zur Verfügung. Der Betriebswasserverbrauch wird vom Eingabefenster für Betriebswasserbedarf in Stundenschritten eingelesen. Ist der Betriebswasserbedarf größer als das im Speicher vorhandene Wasservolumen, wird das Trinkwasser in den Tagesbehälter nachgespeist. Die Differenz zwischen Betriebswasserbedarf und Regenwassermenge wird dann mit nachgespeistem Trinkwasser gedeckt.

Der Speicher ist weiterhin mit einem Überlauf zu versehen, der überschüssiges Regenwasser kontrolliert in den nachgeschalteten Pufferspeicher ableitet. Teilweise wird der Überlauf bei angebotenen Anlagen dazu genutzt, Schwimmstoffe aus der Zisterne auszuschwemmen (Herrmann und Schmida, 1996-2).

Der Wasserstand im Nutzspeicher verändert sich nach dem Zufluss vom Absetzbecken, der abgepumpte Menge in den Tagesbehälter und der Überlaufmenge in den nachgeschalteten Pufferspeicher. Um den Speicherinhalt zu einem bestimmten Zeitpunkt zu bestimmen, wird in diesem Programm die folgende Gleichung verwendet.

$$V_{nz,\,i} = V_{nz,\,i-1} + (Q_{zu,\,i} - Q_{ab,\,i})$$
$$Q_{ab,\,i} = Q_{bw,\,i} + Q_{über,\,I} \qquad \text{(Gl. 7-2)}$$

$V_{nz,\,i}$: Speicherinhalt [m^3]
$Q_{zu,\,i}$: Speicherzufluss [m^3/h]
$Q_{ab,\,i}$: Speicherabfluss [m^3/h]
$Q_{bw,\,i}$: Speicherabfluss in den Tagesbehälter für die Betriebswassernutzung [m^3/h]

$Q_{über, i}$: Speicherabfluss in den Pufferspeicher durch den Überlaufanschluss [m^3/h]
i: Laufvariable des Berechnungszeitpunktes. [-]

Im Regenfall lassen sich die Überlaufmenge ($Q_{über, i}$) und das aktuelle Volumen als Funktionen des Wasserstandes beschreiben. So kann mit Hilfe einer Speicherfunktion und der wasserstandsabhängigen Kennlinien die Gleichung gelöst werden.

$$H_{nz, i} = H_{nz, i-1} + \Delta h \ (0 \leq H_{nz, I} \leq H_{nz.max}) \qquad \text{(Gl. 7-3)}$$

Dabei ist

$H_{nz, i}$: Höhe des aktuellen Wasserspiegels im Nutzspeicher [m]
$H_{nz.max}$: maximale Höhe vom beliebig eingegebenen Nutzspeicher [m]
Δh: Änderung des Wasserstandes in Abhängigkeit von der Zu- und Abflussmenge [m]

Die Dimensionen des Nutzspeichers werden im „Dimensioneneingabe für den Nutzspeicher“ beliebig eingegeben. Hier wurde die erforderlichen Dimensionen gelistet.

Dimensionen	Breite	Länge	Tiefe	min. Wasserstand
Einheit	m	m	m	m

b) Pufferspeicher - Zisterne B

Neben dem Nutzspeicher ist in diesem System ein Pufferspeicher verbunden. Er befindet sich zwischen dem Nutzspeicher und einem Versickerungsblock. Das Speichervolumen dieser Zisterne B wird über den Überlauf, den Drossellablauf und die Notpumpe gesteuert. Wenn die Zisterne voll ist, läuft das Regenwasser in den Versickerungsblock über. Der Pufferspeicher wird auch durch den Drosselablauf ständig entleert. Vor Starkniederschlagsereignissen wird das Regenwasser im Pufferspeicher durch die Einschaltung der Notpumpe abgepumpt.

Um den Speicherinhalt zu einem bestimmten Zeitpunkt zu bestimmen, werden die folgenden Gleichungen verwendet.

$$V_{ps, i} = V_{ps, i-1} + (Q_{zu, i} - Q_{ab, i}) \qquad \text{(Gl. 7-4)}$$

$$Q_{ab, i} = Q_{dr, i} + Q_{über, I} \qquad \text{(Gl. 7-5)}$$

$V_{ps, i}$: Speicherinhalt im Pufferspeicher [m^3]
$Q_{zu, i}$: Speicherzufluss durch Überlaufanschluss vom Nutzspeicher [m^3/h]
$Q_{ab, i}$: Speicherabfluss [m^3/h]
$Q_{dr, i}$: Speicherabfluss in die Kanalisation durch Drosselöffnung [m^3/h]
$Q_{über, i}$: Speicherabfluss in Versickerungsblock durch den Überlaufanschluss [m^3/h]
i: Laufvariable des Berechnungszeitpunktes. [-]

7.2.3. Tagesbehälter`

Der Tagesbehälter ist ein vorgeschalteter Behälter für die Betriebswasserentnahme, der sowohl mit Trinkwasser als auch mit Regenwasser befüllt wird. Ist in diesem Behälter kein Wasser mehr vorhanden, wird automatisch der Wasserstand im Nutzspeicher abgefragt. Von dort wird dann wieder Regenwasser in den Tagesbehälter gepumpt. Sollte auch im Nutzspeicher kein Wasser mehr zur Verfügung stehen, ist es notwendig, den Tagesbehälter mit Trinkwasser nachzuspeisen.

Vom Tagesbehälter wird das Wasser nach dem Betriebswasserverbrauch in die Entnahmestelle (z.B. Toilette oder Wasserhahn für die Gartenbewässerung) gepumpt. Um den Speicherinhalt des Tagesbehälters zu einem bestimmten Zeitpunkt zu ermitteln, wird die folgende Gleichung verwendet.

$$V_{hb,\,i} = V_{hb,\,i-1} + (Q_{zu,\,i} - Q_{bw,\,i}) \qquad \text{(Gl. 7-6)}$$

$V_{hb,\,i}$:	Speicherinhalt	[m^3]
$Q_{zu,\,i}$:	Speicherzufluss durch die Pumpen vom Nutzspeicher	[m^3/h]
$Q_{bw,\,i}$:	Speicherabfluss in die Betriebswasserentnahmestelle	[m^3/h]
i:	Laufvariable des Berechnungszeitpunktes.	[-]

Hier wurde die erforderlichen Dimensionen gelistet.

Dimensionen	Breite	Länge	Tiefe	min. Wasserstand
Einheit	m	m	m	m

7.2.4. Drosselablauf

Wenn der Pufferspeicher rechtzeitig vor einem großen Niederschlagsereignis entleert wird, kann die Gesamtanlage durch das Retentionsvolumen im Pufferspeicher mehr Regenwasser aufnehmen und den Spitzenabfluss vermindern. Der Drosselabfluss wird in Abhängigkeit vom Wasserstand nach *Toricelli* als vollkommener Ausfluss aus einer kleinen Öffnung berechnet.

Es gilt

$$Q_d = \mu \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(h - \frac{\phi}{2} \right)} \qquad \text{(Gl. 7-7)}$$

Dabei ist

Q_d :	Drosselabfluss	[Liter/sec]
µ:	Ausflussbeiwert (Hier 0,607 für scharfkantige Kreisöffnungen)	
Ø:	Drosseldurchmesser	[m]
h:	Wasserstand über Sohle der Drosselöffnung	[m].

Bei Wasserständen, die unterhalb des halben Drosseldurchmessers liegen, wird vereinfacht von keinem Abfluss ausgegangen. Der Ausflussbeiwert (μ) wird mit 0,607 für scharfkantige Kreisöffnungen angesetzt. (Pecher u.a.,1991). Die Öffnungen können aus hier gelisteten Liste beliebig ausgewählt werden.

Öffnungen(Ø)	6mm	8mm	10mm	12mm	16mm	20mm	30mm	50mm

7.2.5. Versickerungsblock

Der Pufferspeicher ist über den Überlaufanschluss so mit dem Versickerungsblock verbunden, dass er der oberflächennahen und dezentralen Versickerung und Rückhaltung von Niederschlagswasser dienen kann. Für Versickerung mit kleinem Platzbedarf eignen sich u.a. so genannte Blocksysteme (Abb. 7-7). Diese haben teilweise ein Porenvolumen von mehr als 95% und können damit auf einer kleineren Fläche viel Wasser unterirdisch zurückhalten und versickern.

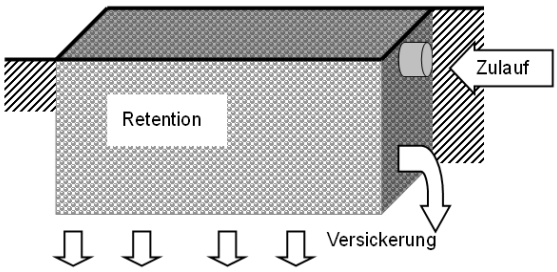


Abb. 7-7 Retension und Versickerung im Versickerungsblock

Zur Schutz des Grundwassers und zur Erhaltung des Versickerungsfähigkeit ist es erforderlich, die absetzbare und abfiltrierbare Schadstoffe aus dem Niederschlagswasser vor der Versickerung zurückzuhalten. Bei der Versickerung durch die belebten Böden kann die Filterfunktion der Böden mit Hilfe der Bodenflora, -fauna, -gefüge und –mikroorganismen erwartet werden. Aber bei der direkten unterirdischen Zuleitung und Versickerung in den Bodenkörper sollten stets entsprechende Behandlungsanlagen wie eine Absetzeinrichtung, Filtersack oder Filterschicht vorgeschaltet werden. Zu den Versickerungsblöcke in dieser Arbeit sind ein Absetzbecken und 2 Zisterne, die durch den Überlauf mit Filter verbunden sind, vorausgesetzt. Dazu ist es auch angenommen, dass diese Versickerungsblöcke so miteinander konstruiert werden, dass die manuelle oder maschinelle Spülung möglich ist.

Ohne Berücksichtigung eines Verzögerungseffektes durch den Abflusskonzentrationsprozess erhält man die Zuflussmenge aus Pufferspeicher in Abhängigkeit von der Funktion des Wasserstandes im Pufferspeicher.

Es wird angenommen, dass die angeschlossene Öffnung der Anlage für die Überleitung des Regenwassers in den Versickerungsblock ausreichend ist. Die Dimensionen des Blockes für Retenion und Versickerung sind wie folgende.

Dimensionen	Breite	Länge	Tiefe	Porosität
Einheit	m	m	m	%

Die Versickerungsfläche A_s des Blocks ergibt sich in diesem Programm aus der Länge L multipliziert mit der Breite B. Dazu werden die vier seitlich angrenzenden Versickerungsflächen, die sich je nach Wasserstand im Block verändern, zur Verbreiterung der versickerungswirksamen Grundfläche addiert. Diese wird jeweils mit h/4 (h: aktuelle Wasserstandshöhe) für beide Seiten angesetzt und mit der Breite und Länge multipliziert. Für die Ermittlung der Versickerungsmenge wird der Wasserstand h nach stundenweiser Berechnung automatisch neu angegeben. Die Versickerungsfläche gilt wie folgende Gl. (7-8).

$$A_s = (L \cdot B) + (h/4 \cdot L \cdot 2) + (h/4 \cdot B \cdot 2) \qquad \text{(Gl. 7-8)}$$

L: Länge [m] B: Breite [m] h: Wasserstand [m]

Die versickerungswirksame Fläche des Versickerungsblockes ist noch einmal in der folgenden Abb.7-8 dargestellt.

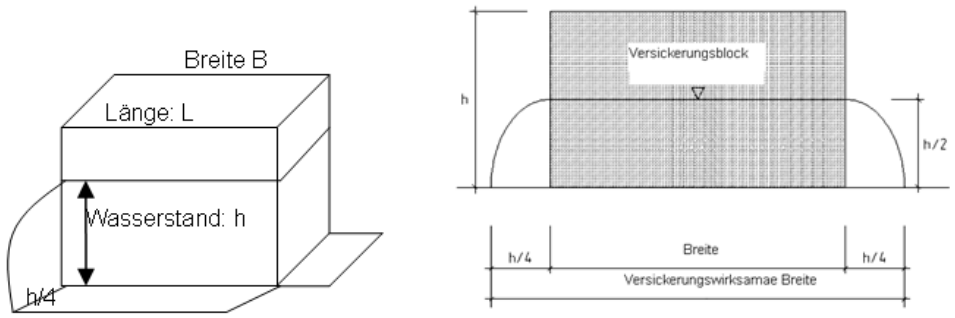


Abb. 7-8 Schematische Darstellung der versickerungswirksamen Grundfläche des Versickerungsblocks

Zur Ermittlung des aktuellen Füllstandes im Versickerungsblock sind die Zufluss- und Versickerungsvolumina über folgende Kontinuitätsbedingung miteinander zu verknüpfen.

$$V_i = V_{i-1} + Q_{zu,i} - Q_{s,i} \quad (V_i \leq V_{vb}) \qquad \text{(Gl. 7-9)}$$

$Q_{zu,1}$: Zulaufmenge vom Pufferspeicher in m^3/h,

$Q_{s,1}$: Versickerungsrate im Versickerungsblock in m^3/h,

V_i: Füllstand des Speichers in m^3 an dem Zeitschritt,

V_{vb}: Vorgegebene Dimension des Speichers,

i : Laufvariable des Berechnungszeitpunktes.

Die Versickerungsrate $Q_{s,1}$ wird nach Formel in (Gl. 5-36) mit gesättigtem Durchlässigkeitbeiwert(Wasserleitfähigkeit: k_f) berechnet.

Der Durchlässigkeitbeiwert(k_f) wurde auch vereinfachend nach dem Bodenart(Rawls, Brankensiek und Saxton, 1982) bestimmt und für die Berechnung der

Infiltrationsmenge verwendet(Furguson, 1994). In diesem Programm wurde dieser Durchlässigkeitbeiwert(k_f) als Eingabedaten genommen, der in Korea im Moment sehr verbreitet ist (Tab. 7-2).

Tab. 7-2 Eingabedaten des Durchlässigkeitbeiwertes(k_f) nach dem Bodenart

Bodenart	gesättigter Durchlässigkeit-beiwert(k_f ; cm/h)	Bodenart	gesättigter Durchlässigkeit-beiwert(k_f ; cm/h)
Sand	21,00	Clay loam	0,23
Loamy sand	6,11	Silty clay loam	0,15
Sandy loam	2,59	Sandy clay	0,12
Loam	1,32	Silty clay	0,09
Silt loam	0,68	Clay	0,06
Sandy clay loam	0,43		

7.2.6. Notpumpenanlage bei Hochwasseralarm

In Korea betreibt der nationale Wetterdienst (Korea Meteorological Administration) ein Hochwasserwarnsystem mit verschiedenen Warnstufen. Dabei bedeutet. Hochwasserwarnungsstufe I, dass es innerhalb von 12 Stunden mehr als 80 mm regnen kann. Bei Warnstufe II sind im gleichen Zeitraum sogar zu mehr als 120 mm zu erwarten. Nach einer solchen Warnung bereiten sich jeweilige Zuständigen der staatlichen und offiziellen Einrichtungen und der privaten Gebäudemanagementfirmen auf die zu erwarteten Maßnahmen zur Bekämpfung möglicher Hochwasserschäden vor. Diese Bereitschaft der betroffenen Zuständigen ist gesetzlich geregelt.

Für die Simulation in diesem Programm wurde es angenommen, dass zwei Notpumpen den Nutzspeicher und den Pufferspeicher entwässern, sobald ein Alarm ausgelöst wird. Der Alarm selbst wird hier automatisch in beliebigem Rhythmus simuliert und ausgelöst, wenn die Summe der eingegebenen Niederschlagsmengen größer ist als die Menge in der entsprechenden Hochwasserwarnungsstufe.

In der Realität ist es natürlich so, dass manchmal trotz ausgelöstem Alarm ein Hochwasserereignis ausbleibt. Es gibt allerdings auch Situationen in denen Hochwässer plötzlich und unerwartet, ohne Warnung auftreten. Die Quote von realen und vorhergesagten Hochwässern kann aus empirischen Daten genommen werden, um die Realität und die Genauigkeit der Simulation zu erhöhen. In diesem Programm ist die Quote 1,0 also gleich angenommen.

7.3. Abgrenzungssubroutine und Festlegung der Dimensionen

7.3.1. Abgrenzungssubroutine der Simulation

Diese Subroutine soll den Nutzer von Anfang an bei der Erstellung von

Simulationsszenarien mit konkreter Eingabe der einzelnen Anlagen-dimensionen unterstützen. Hier werden die Ausmaße der Anlagenkomponenten, die bei der Simulation als Variable dienen, auf der Grundlage von Tagessummen der Niederschläge eingegeben.

Die Abb. 7-9 zeigt, dass im Eingabefenster zunächst die Komponenten Hochwasseralarmstufe, Leistung der Notpumpe, Dimensionen der Zisternen A und B sowie des Versickerungsblocks, Durchmesser des Drossels und Bodenart variiert werden können.

Die entsprechenden Größen können hier beliebig verändert und angepasst werden. Als Ergebnis der anschließenden Berechung, unter Berücksichtigung der Auffangfläche und mittleren Abflussbeiwertes, wird dann die Zulaufmenge graphisch angezeigt (Abb. 7-10). Nach Eingabe bzw. Variation der einzelnen Komponenten wird umgehend die Auswirkung der jeweiligen Änderung auf die Ablaufmenge angezeigt. Die gesamte Zulaufmenge wird nach der Reihenfolge der Installation durch Retention, Nutzung, Drosselablauf und Versickerung in der Zisterne A(grün), B(gelb) und Versickerungsblock(rosarot) aufgenommen anstatt in den Kanal abzufließen (Abb. 7-11).

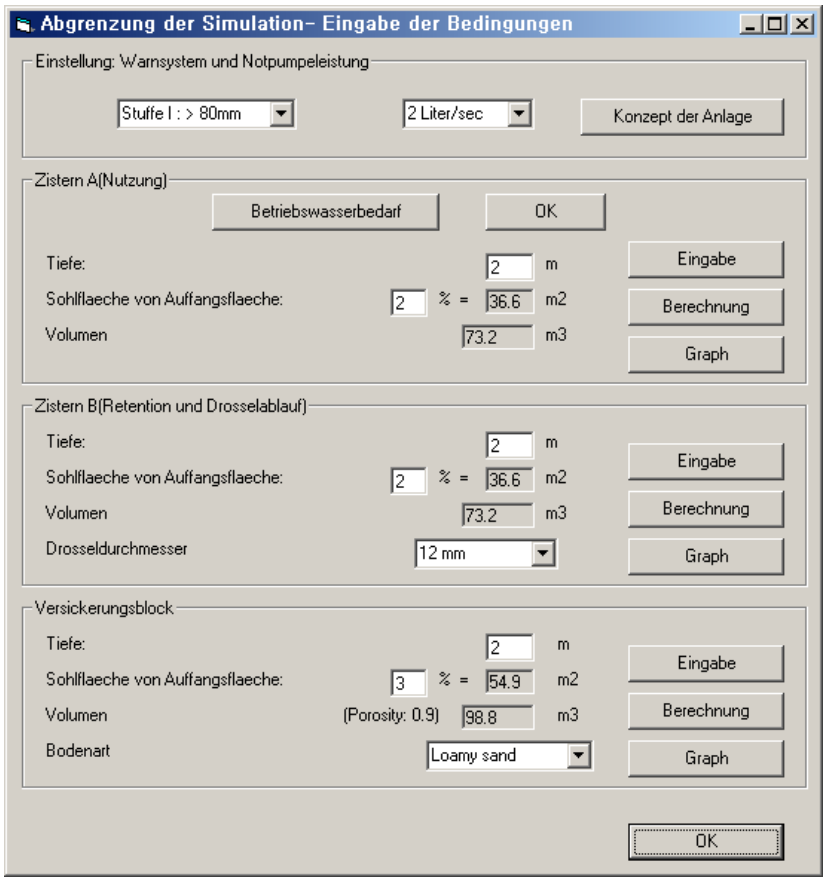


Abb. 7-9 Eingabefenster für die Abgrenzung der Szenarien

Durch diese Variation der Größen einzelner Komponenten ist es möglich, die

Sensitivität dieser Komponenten und ihrer Auswirkungen auf der Basis von Tagesdatensätzen zu prüfen.

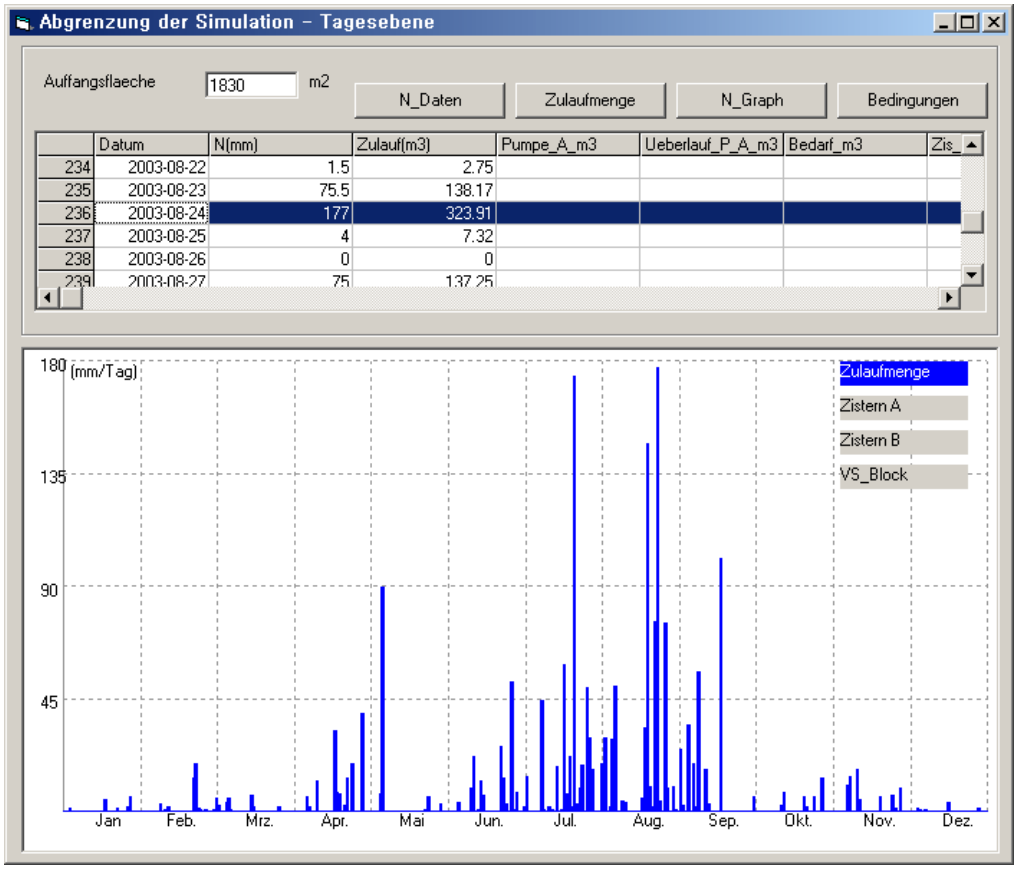


Abb. 7-10 Verteilung der Zulaufmenge (Tagesebene)

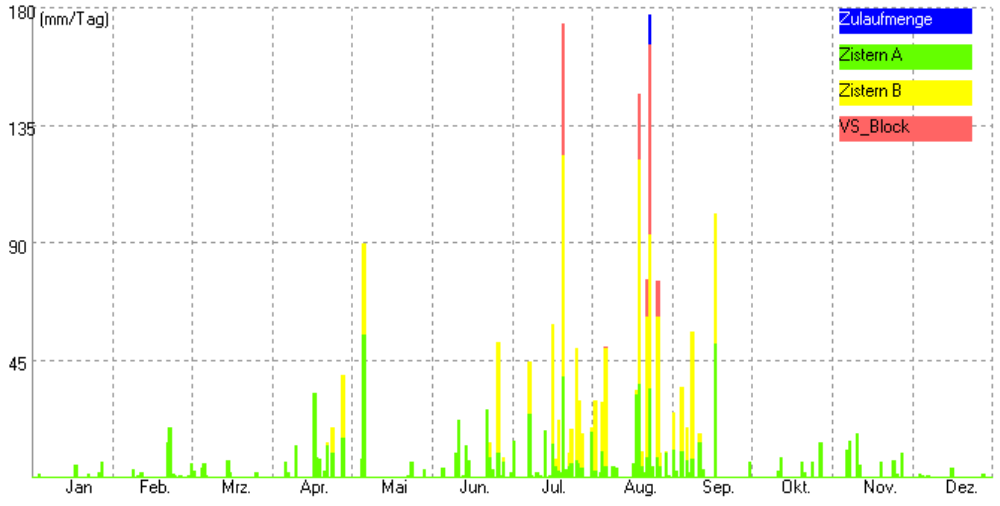


Abb. 7-11 Sensitivität dieser Komponenten und ihrer Auswirkungen auf der Basis von Tagesdatensätzen

7.3.2. Festlegung der Dimensionen

Durch die Wiederhohlung dieser Vorgänge in der Abgrenzungssubroutine werden passende Dimensionen der jeweiligen Anlage bestimmt und weiter ins Eingabefenster

zur konkreten Festlegung der Dimensionen für das „Dimension-Auswirkung-Modul“ und „Auswirkung-Dimension-Modul“ geleitet.
Hier werden die konkreten Dimensionen wie Breite, Länge und Tiefe nach der Bedingung der entsprechenden Produkte in dem Markt beliebig unter Berücksichtigung der Ergebnisse bei Abgrenzungssubroutine festgelegt (Abb 7-12).

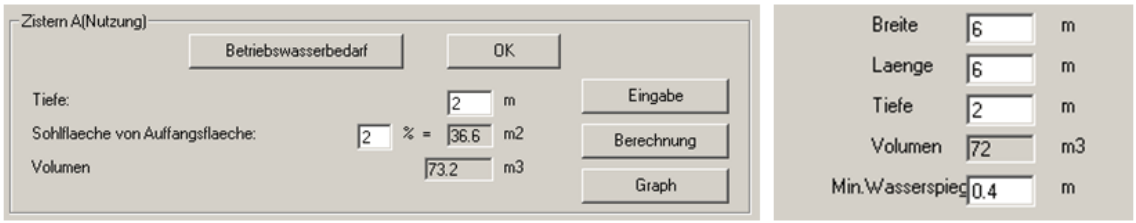


Abb. 7-12 Bestimmung in der Abgrenzungssubroutine(links) und Festlegung im Eingabefenster (rechts)

Auf diese Art und Weise werden alle Dimensionen wie in der Tab. 7-3 festgelegt.

Tab. 7-3 Die festgelegten Dimensionen

Komponente	Dimensionen	Komponente	Dimensionen
Absetzbecken	4 (2 x 2 x1) m^3	Tagesbehälter	8 (2 x 2 x 2) m^3
Zisterne A (Nutzung)	72 (6 x 6 x 2) m^3	Drosseldurchmesser	12 mm
Zisterne B (Retention)	72 (6 x 6 x 2) m^3	Notpumpe	2 Liter/sec
Versickerungsblock	98,6 (7,4 x 7,4 x 2 x 0,9) m^3	Hochwasseralarm	Stufe I (80 mm innerhalb 12 Stunden)

7.4. Dimension-Auswirkung-Modul

Das „Dimension-Auswirkung-Modul“ ermöglicht es, auf Grundlage einer Simulation, die potentiellen Auswirkungen von gewählten Anlagendimensionen abzuschätzen. Die in dieser Arbeit beispielhaft betrachtete Anlagekombination ist mit seinen Komponenten im Kapitel 7.2 beschrieben. Für die Simulation werden 2 unterschiedliche Simulationsmethodiken verwendet. Das sind zum einen Lastfallsimulation mit Regenspendedaten und zum anderen kontinuierliche Simulation mit Regendatenreihen in Stundenintervallen.

7.4.1. Durchführung der Lastfallsimulation

Bei der Lastfallsimulation werden grundsätzlich die statistischen Regenspendedaten als „Blockregen“ in die Simulationsalgorithmen eingegeben. Dieser Bemessungsregen der ausgewählten Wiederkehrzeit wird jeweilige Regendauer für 10 min Intervall dividiert und hintereinander eingegeben. Für die Wiederkehrzeit von 10 Jahren wird z.B.

zunächst ein Niederschlagswert von 25mm für Regendauer von 10 min eingegeben und die entsprechende hydrologische Auswirkung in der Anlage berechnet. Anschließend wird der Regenspendewert von 37,9 mm durch 2 dividiert, um den Niederschlagswert von 18,95 mm für die Regendauer 10 min in die Berechnungsalgorithmen automatisch einzugeben. Im weiteren Verlauf werden zunächst die Zu- und Ablaufmenge sowie der Füllstand der Anlage bei einem Zufluss von 18,95 mm registriert. Auf Grund dieses Zustands der Anlage kommt noch einmal die Zuflussmenge von 18,95mm in die Anlage. Danach wird die Menge der Zu- und Ablauf und die Änderung des Füllstandes berechnet und in Form einer Tabelle geschrieben. Für den Zeitpunkt des nächsten Niederschlagsereignisses wird der vorhandene Anlagenfüllstand wieder auf den vordefinierten Wert zurückgesetzt.

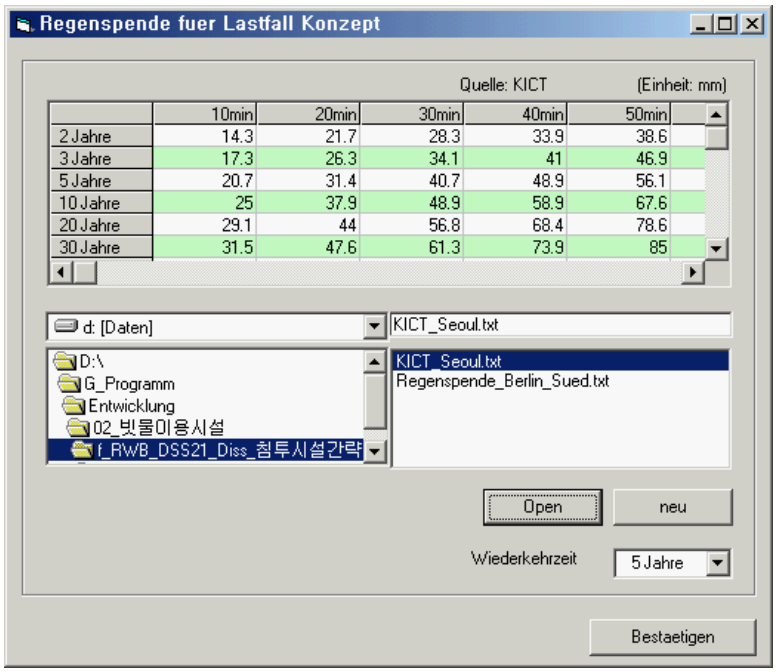


Abb. 7-13 Eingabefenster der Regenspendedaten Koreas

Die Regenspendedaten mit Textdatenformat (.txt) kann in diesem Fenster aufgerufen und die gewünschte Wiederkehrzeit ausgewählt werden (Abb. 7-13).
Die folgende Abb. 7-14 zeigt den angenommenen Füllstand der einzelnen Anlage, der unterschiedliche Auswirkungen haben kann.

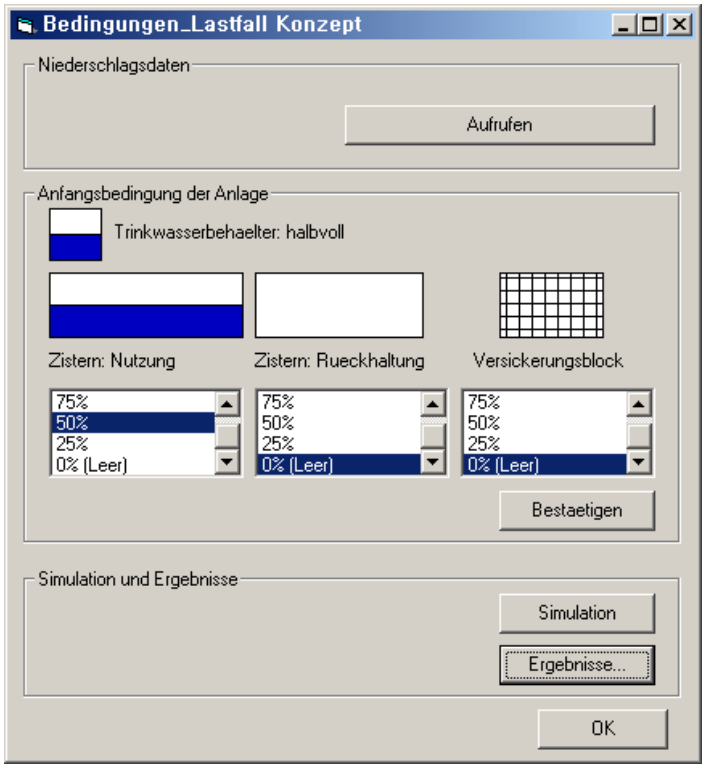


Abb. 7-14 Eingabefenster zur Festlegung des Füllstandes von einzelnen Anlagen

Da bei der Lastfall-Simulation der vorhandene Füllstand der Anlagenkomponenten unbekannt ist, kann versucht werden, diese auf Grundlage bestimmter Sicherheitsanforderungen zu bestimmen. In dem dargestellten Simulationsmodul bleibt der Füllstand des Tagesbehälters konstant halb voll, da von diesem Parameter nur relativ geringe Auswirkungen zu erwarten sind. Der Füllstand der drei anderen Komponenten, also der Zisternen für Nutzung, Retention sowie des Versickerungsblocks, wird von 0% bis 100% in Intervallen von 25% variiert.

Nach der Durchführung der Simulation werden die maximale Zu- und Ablaufintensität, sowie der Füllstand von Zisterne und Versickerungsblock nach jedem Niederschlagsereignis aufgelistet. Aus dieser Liste wird die endgültige und maximale Zu- und Ablaufintensität ausgewählter Wiederkehrzeiten ermittelt. Die Darstellung dieser Ergebnisliste im erstellten Programm zeigt die folgende Abb. 7-15.

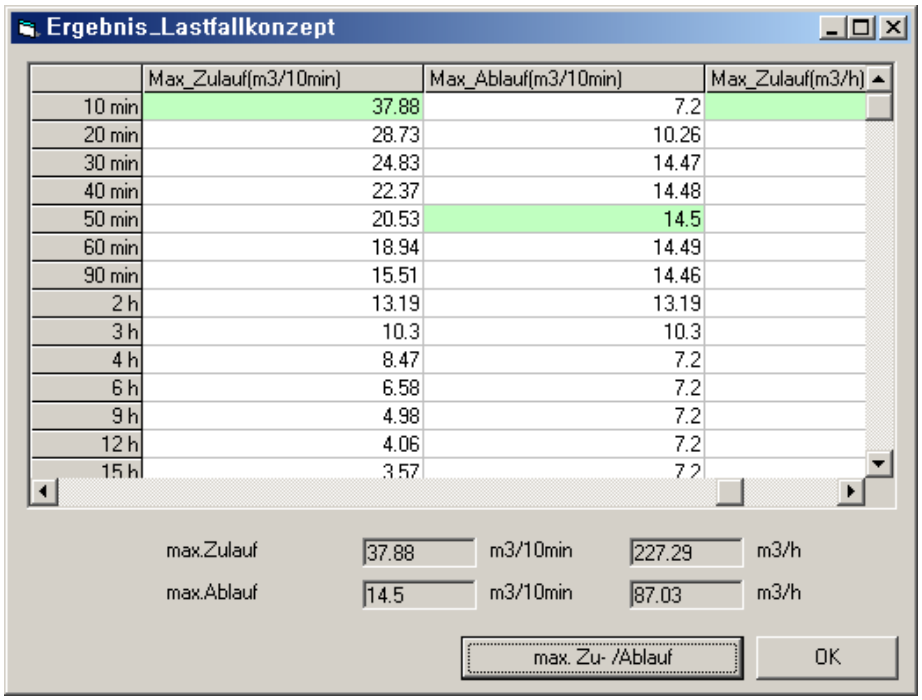


Abb. 7-15 Ergebnisliste maximaler Zu- und Ablaufintensität ausgewählter Wiederkehrzeiten

Hier wurde eine Wiederkehrzeit von 5 Jahren angesetzt und weiterhin angenommen, dass am Anfang die Füllstände der Zisterne A (Nutzung) 50% und der anderen Zisterne und des Versickerungsblockes 0 % betragen. Unter diesen Rahmenbedingungen und Dimensionen ist es möglich, die Zuflussintensität von 37,88 (m^3/10 min) auf die Ablaufintensität von 14,5 (m^3/10 min) zu reduzieren.

7.4.2. Durchführung der kontinuierliche Simulation

In diesem Modul ist eine kontinuierliche Simulation auf der Grundlage von stündlichen Niederschlagsdaten für den Zeitraum eines Jahres möglich. Diese Datenreihe steht überall in den koreanischen Städten zur Verfügung.

Nach Angabe von Kim und Kim (1998) und von Sim (1998) beträgt die Fließzeit bei der Entwässerungsplanung im Siedlungsgebiet in der Regel ca. 5-10 min. Da die eingegebenen stündlichen Niederschlagsdaten die Fließzeit überschreiten, kann das Oberflächenabflussmodell, das in Deutschland normalerweise auf 5 min Niederschlagsdaten basiert, nicht umgesetzt werden. Ausserdem unter Berücksichtigung der extrem hohenen Niederschlagsintensität in Sommermonaten in Korea (z.B. mit oft mehr als 70mm Niederschlag pro Stunde) können die Verluste beim Abflussbildungsansatz im Oberflächenabflussmodell insbesondere auf den versiegelten Flächen vernachlässigt werden. Aufgrund der Verfügbarkeit geben uns diese Datenreihen auch große Anwendungspotentiale. Im Kap. 7.1 wurde die Simulationsgrundlage ausführlich beschrieben. Als Ergebnis der Simulation ergeben

sich eine Jahreswasserbilanz, die Zu-/Ablaufintensität sowie eine Zu-/Ablaufganglinie für die betrachtete Anlage bei der Bedingungen in der Tab. 7-2.

a) Simulationsergebnis: Jahreswasserbilanz

Die Jahreswasserbilanz umfasst 2 Bilanzierungskategorien von „Regenwassermenge“ und „Betriebswassermenge“. In der Kategorie „Regenwassermenge“ befinden sich die Gesamtzulauf- und -ablaufmenge, die Gesamtnutzungsmenge sowie die Versickerungsmenge. Die Gesamtablaufmenge ist in die Größen „Ablaufmenge von der Notpumpe und Überlauf“ und „Drosselablauf“ eingeteilt. In der Kategorie „Betriebswassermenge“ wird die Wasserverbrauchsmenge aus der Trinkwassernachspeisung und Regenwassernutzung zusammengesetzt. Weiterhin werden die Restmenge sowie die maximale Zu- und Ablaufintensität angezeigt. Unter dem Begriff Zulaufintensität ist die Zulaufmenge pro Zeiteinheit aus der angeschlossenen Auffangfläche in die Anlagekomplex zu verstehen. Die Ablaufintensität bildet sich aus der Summe von der Überlaufintensität von Versickerungsblock, Ablaufintensität von Drosselrohr und von Notpumpe. Die folgende Abb.7-16 zeigt das Ergebnisfenster für die Jahreswasserbilanz.

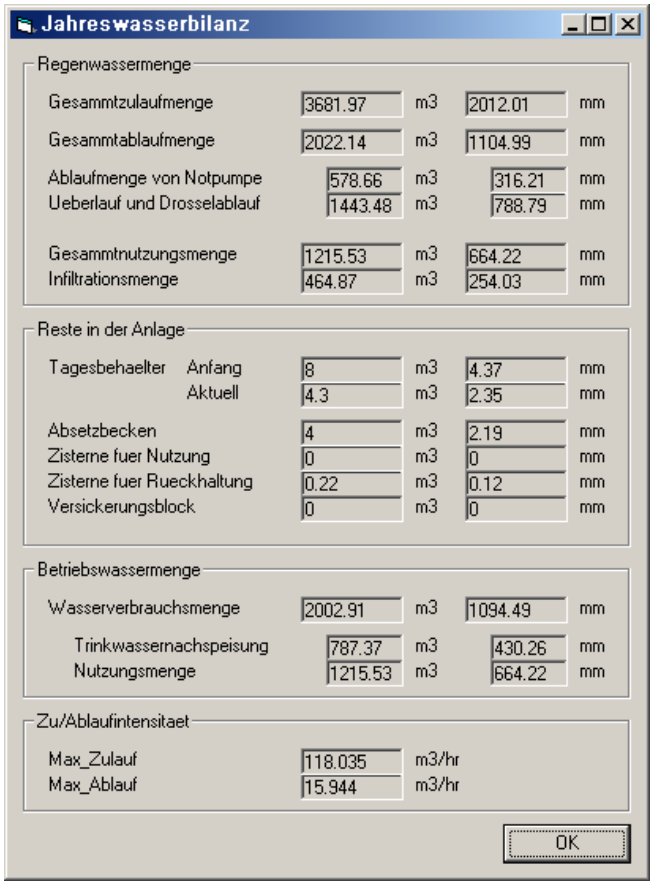


Abb. 7-16 Ergebnisfenster für die Jahreswasserbilanz

b) Simulationsergebnis: Zu- und Ablaufintensität

Für die Entlastung der Kanalisation, insbesondere für die Mischkanalisation, ist die Verminderung der Abflussintensität ein wichtiger Faktor. Um die Auswirkungen der Anlage auf die Kanalbemessung zu überprüfen, ist es notwendig die Größe der Ablaufmenge auf Sekundenebene (Liter/s oder m^3/s) zu berechnen. Da für dieses Programm bisher nur Datensätze mit Stundenintervallen als Basis verwendet werden konnten, kann die Plausibilität der Aussage leider nur für diese Genauigkeit garantiert werden. Trotz dieser Unschärfe ist es möglich, aus den ermittelten Ergebnissen wichtige Informationen über die Auswirkungspotentiale der Anlagenkomponenten zu gewinnen. Das Ergebnisfenster des Zu- und Ablaufverhältnisses ist in der folgenden Abb. 7-17 dargestellt.

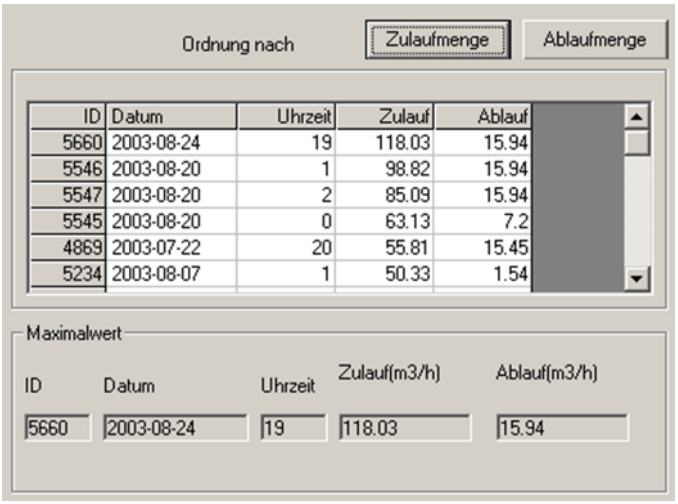


Abb. 7-17 Ergebnisfenster für die Zu- und Ablaufintensität

Der obere Rahmen des dargestellten Fensters zeigt die ermittelte Zu- und Ablaufintensität in zeitlicher Reihenfolge für den Zeitraum eines Jahres. Im unteren Rahmen kann die Intensität nach Zulauf und Ablauf geordnet werden, um die Differenz zwischen beiden Größen effektiv beurteilen und den entscheidenden Zeitraum mit maximaler Differenz herausfinden zu können.

c) Simulationsergebnis: Zu- und Ablaufganglinie

In dieser Subroutine kann der gewünschte Zeitraum für den Grafikverlauf bestimmt und die entsprechenden Daten abgerufen werden. Im Darstellungsfenster befinden sich drei „Grafikrahmen“ für den Niederschlag, die Änderungen der Wasserständen sowie der Zu/Ablaufintensität. Im Grafikrahmen für die Änderungen der Wasserstände können die aktuellen Wasserstände in den Zisternen sowie in Versickerungsblock und Tagesbehälter in Stundenschritten angezeigt werden. (Abb. 7-18). Diese grafischen Ergebnisdarstellungen können weiterhin zu einem besseren Verständnis und zur Plausibilitätsprüfung des Simulationsprinzips und -verlaufs beitragen.

In der Abb. 7-18 und Tab. 7-4 dargestellten Beispiel für den Zeitraum vom 24.08.2003 13 Uhr bis zum 25.08.2003 14 Uhr lässt sich deutlich die Entleerungsaktion der Notpumpen nach dem Hochwasseralarm um 08 Uhr am 24.08.2003 erkennen. Der Wasserstand im Pufferspeicher (Zisterne B, Gelbe Linie) sinkt innerhalb von 3 Stunden auf 0 ab. Der Wasserstand im Nutzspeicher (Zisterne A, Blaue Linie) ist aufgrund der aktuellen Zulaufmenge schwankend. Im Tagesbehälter(Grüne Linie) folgt der Wasserstand den eingegebenen Faktoren des Betriebswasserverbrauches. Im Versickerungsblock wird das zugelaufene Wasser nach der bestimmten Infiltrationsrate in den Untergrund versickert.

Der untere Rahmen der Abbildung 7-18 zeigt die Zu- und Ablaufganglinie in Stundenschritten. Durch diese Anlagekombinationen kann nach der Simulation z.B. die maximale Zulaufintensität 118,03 m^3/h auf die Ablaufintensität 15,94 m^3/h um 19 Uhr am 24.08.2003 reduziert werden.

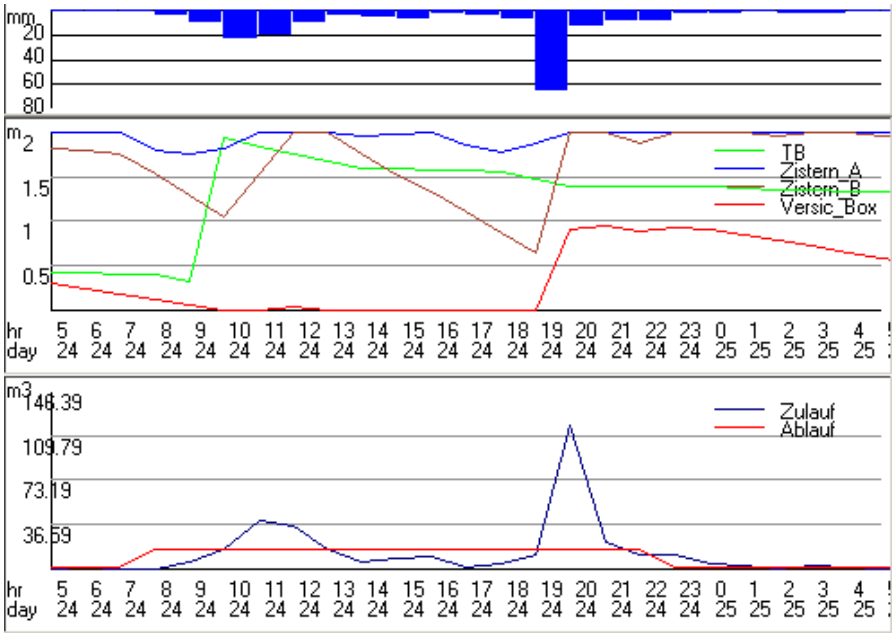


Abb. 7-18 Darstellungsfenster für den Niederschlag, die Änderungen der Wasserständen sowie der Zu/Ablaufintensität

In diesem Programm wurde das Konzept des Hochwasserschutzes in Form einer Anlagekomponente zur Entleerung der Zisternen mit Hilfe von Notpumpen für Korea realisiert. Diese Notpumpen können durch eine Fernsteuerung oder manuell aktiviert werden. Für die Pumpenleistung stehen im erstellten Programm drei Abstufungen zur Auswahl. Die Reaktionszeit der Pumpen kann in Anlehnung an die jeweilige Hochwasseralarmstufe bestimmt werden. Die Arbeitsweise der Pumpen wurde so konzeptioniert, dass die Zisterne A(Nutzspeicher) und B (Pufferspeicher) solange der Hochwasseralarm aktiv ist, stündlich entleert wird.

Für die Erstellung von Berechnungsalgorithmen bedeutet dies, dass die Summe des Niederschlags von einem bestimmten Zeitpunkt an und für den Zeitraum von 12 Stunden größer als ein bestimmter Wert ist, z.B. größer als 80 mm innerhalb 12 Stunden bei Stufe I oder 120 mm bei Stufe II. Um die Entleerungseffekt sicherer zu stellen, wird die Schaltung der Notpumpe so simuliert, dass die Pumpen nach dem Schluss der Alarmierung noch 3 Stunden lang angeschaltet bleiben. Dadurch kann auch in den anschließender 3 Stunden, in denen die Summe weniger als 80 oder 120 mm ist, die Zisterne weiterhin entleert werden.

Die Tab. 7-4 zeigt den zeitlichen Verlauf der „Pumpenarbeit“ beispielhaft während eines Hochwasseralarms in einem simulierten Beispiel. Die Summe der Niederschlagsmenge erreicht in diesem Beispiel am 24.08.2003 um 7 Uhr einen Wert von 84 mm. Die Niederschlagssumme zu diesem Zeitpunkt ergibt sich durch Addierung der Niederschlagsmengen der kommenden 12 Stunden. Dieser Wert 84 mm ergibt sich aus der Summe von Reihe 0, 3, 9, …, 6 mm im 3. Spalte in der Tab. 7-4. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Hochwasseralarmstufe I ausgelöst und die Pumpen eingeschaltet.

Tab. 7-4 simulierter Verlauf der der Ein- und Ausschaltung der Pumpen während eines Hochwasseralarms

Datum	Uhrzeit (Uhr)	N (mm)	Niederschlagssumme (innerhalb 12 Stunden; in mm)	Stufe I (80mm)		Stufe II (120mm)	
				Alarm	Pumpen	Alarm	Pumpen
24.08.2003	5	0,5	76	N	Aus	N	Aus
24.08.2003	6	0	78	N	Aus	N	Aus
24.08.2003	7	0	84	J	Ein	N	Aus
24.08.2003	8	3	148,5	J	Ein	J	Ein
24.08.2003	9	9	157,5	J	Ein	J	Ein
24.08.2003	10	21,5	155	J	Ein	J	Ein
24.08.2003	11	19	140	J	Ein	J	Ein
24.08.2003	12	9	123	J	Ein	J	Ein
24.08.2003	13	3	115,5	J	Ein	N	Ein
24.08.2003	14	4,5	112,5	J	Ein	N	Ein
24.08.2003	15	5,5	109,5	J	Ein	N	Ein
24.08.2003	16	1	105	J	Ein	N	Aus
24.08.2003	17	2,5	104	J	Ein	N	Aus
24.08.2003	18	6	101,5	J	Ein	N	Aus
24.08.2003	19	64,5	95,5	J	Ein	N	Aus
24.08.2003	20	12	31	N	Ein	N	Aus
24.08.2003	21	6,5	19	N	Ein	N	Aus
24.08.2003	22	6,5	12,5	N	Ein	N	Aus
25.08.2003	23	2	6	N	Aus	N	Aus
25.08.2003	0	1,5	4	N	Aus	N	Aus
25.08.2003	1	0	2,5	N	Aus	N	Aus
25.08.2003	2	1,5	2,5	N	Aus	N	Aus
25.08.2003	3	1	1	N	Aus	N	Aus
25.08.2003	4	0	0	N	Aus	N	Aus

Am 24.03.2003 waren die Notpumpen im Zeitraum von 20 Uhr bis 22 Uhr 3 Stunden

lang automatisch im Simulationsalgorithmus eingeschaltet, obwohl der Alarm aufgehoben war. Dies geschah um durch eine Entleerung der Zisterne die erneute Aufnahmefähigkeit bei nachfolgenden Niederschlagsereignissen zu gewährleisten.
In den folgenden Abbildungen 7-19, 7-20 und 7-21 lässt sich der Zusammenhang zwischen der Änderung des Wasserstandes und der Abflussganglinie bei unterschiedlichen Reaktionen der Notpumpen ablesen. Wenn die Reaktion der Notpumpen durch eine Anpassung der Pumpenleistung auf Stufe II geändert wird, ist die Auswirkung der Pumpen auf die Reduzierung des Spitzenablaufs zu vernachlässigen, weil die Pumpe auf die nachkommende Niederschlagsereignisse bei der niedrigen Summe nicht reagiert hat. Es ist anzumerken, dass sich diese Ergebnisse nur auf die Betrachtung des Faktors „Reduzierung des Spitzenablaufs“ konzentrieren. Die Reaktion der Notpumpen hat auch Einfluss auf die Trinkwassernachspeisung und die Versickerungsmenge. Aus diesem Grund sollten zur Konfiguration der Pumpen die gesamten Niederschlagsereignisse eines Jahres oder besser mehrerer Jahre betrachtet werden.

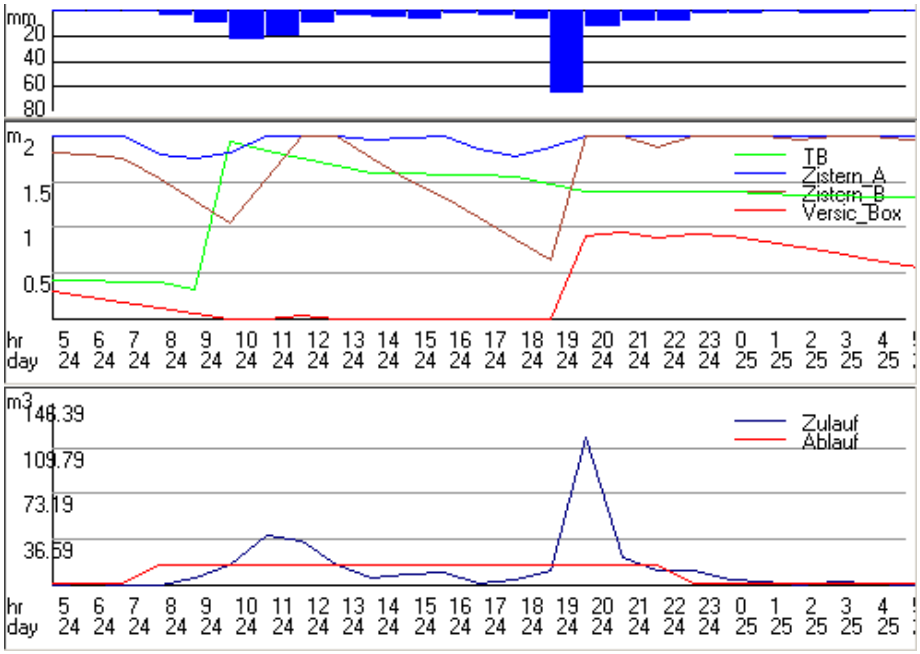


Abb. 7-19 Das simulierte Systemverhalten bei der Hochwasseralarmstufe I (80 mm)

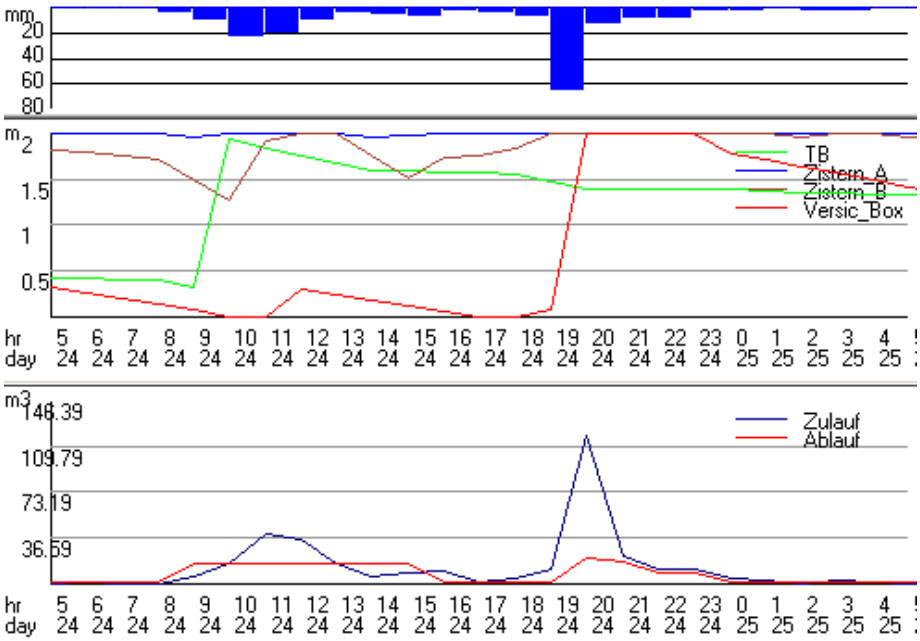


Abb. 7-20 Das simulierte Systemverhalten bei Hochwasseralarmstufe II (120 mm)

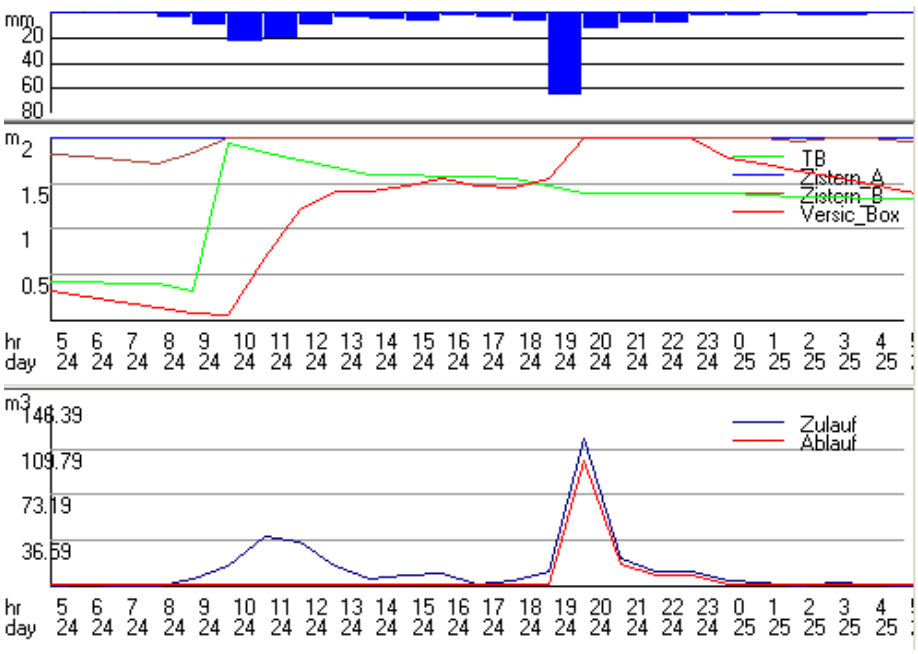


Abb. 7-21 Einstellung der Notpumpeleistung bei 0 Liter/s

Eine Darstellung der aktuellen Wasserstandsänderungen in den Anlagenkomponenten sowie der Trinkwassernachspeisung und stattgefundener Regenereignisse ist ebenfalls im Hauptfenster möglich (Abb. 7-22).

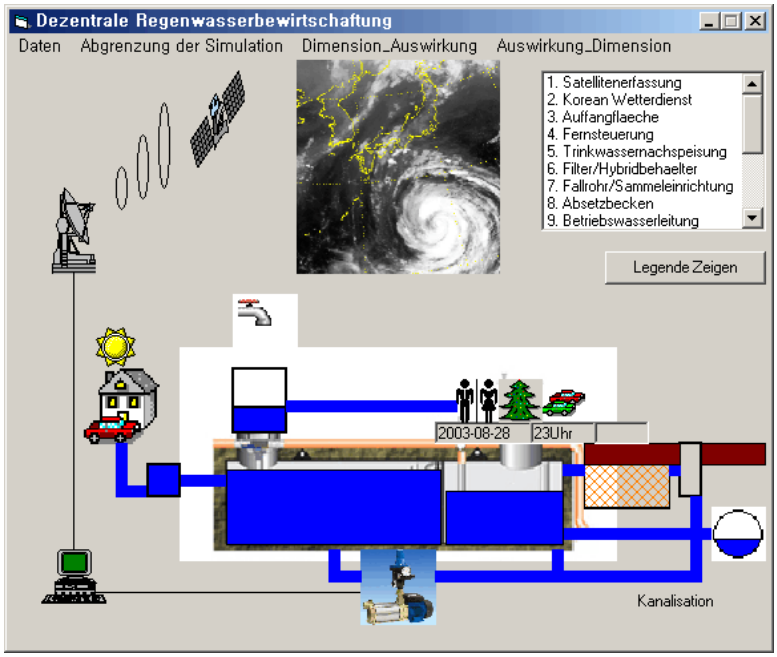


Abb. 7-22 Optische Darstellung der aktuellen Wasserstände in der Anlage

7.5. Auswirkung-Dimension-Modul

7.5.1. Durchführungskonzept

Neben der Durchführung von einzelnen Simulationen lassen sich mit der erstellten Software auch die Anlagendimensionen bestimmen, die für die Erfüllung eines bestimmten Zieles geeignet sind. Die Abb. 7-23 stellt das Durchführungskonzept des „Auswirkung-Dimension-Moduls“ noch einmal in Form eines Fließbildes dar.

Vorbestimmung der Dimensionen der Anlagen

Auffangfläche und Betriebswasserverbrauch,
Varianten der Dimensionierung, Betriebsregelung der Pumpen und des Hochwasseralarms

Iterative Programmdurchführung,
Speichern und Verarbeiten der Ergebnisse.

Reduzierung der Ablaufintensität,
Versickerungs- und Nutzungsmenge des Regenwassers.

Aufzeigen der das Ziel erfüllenden Dimensionierungs-möglichkeiten,
Anordnung nach Größe der Ablaufintensität.

Eingabe der Bau- und Betriebskosten,
Eingabe der Einsparung an Trinkwasser und Regenentgelt.

Errechnung der Gesamtkosten sowie Gewinn-und Verlustrechnung für die aufgezeigten Dimensionierungen.

Anordnung der das Ziel erfüllenden Alternativen nach Baukosten mit den Ergebnissen der Kosten-Nutzen-Analyse.

Abb. 7-7 Durchführungskonzept des „Auswirkungs-Dimensions-Modul“

Durch die Festlegung des erwünschten Zieles können dann die entsprechend geeigneten Anlagendimensionierungen von der Datenbank aufgezeigt werden. Für diese potentiell geeigneten Varianten lässt sich im Anschluss eine Kosten-Nutzen-Analyse durchführen um sie zusätzlich nach Baukosten zu ordnen. Mit dieser methodischen Vorgehensweise ist es möglich, die ideale Dimensionierung einer Anlage, auf der Grundlage der zu erwartenden Auswirkungen, gezielt festzulegen. Zu den wichtigsten Parametern, die während den durchzuführenden Simulationen variiert werden, gehören die Reduzierung der Ablaufintensität, der Anteil der Versickerungsmenge an der jährlichen Gesamtniederschlagsmenge und der Deckungsgrad des Regenwassers mit dem Betriebswasserbedarf.

7.5.2. Szenarien-Eingabe und Erstellung der Dimensionsdatenbank

Mit Hilfe des Abgrenzungsmoduls ist es möglich, den entscheidenden Bereich der Dimensionierung jeder Anlagenkomponente genauer einzuengen (Kap. 7.3.1). Um diesen Bereich herum wird die prozentuale Angabe der Auffangsfläche für die Dimensionierung eingegeben.
Die Darstellung der Auffangfläche in Form eines Prozentwertes ermöglicht eine plausible Vordimensionierungen der Komponenten und eine Manipulation der Ergebnisse in Abhängigkeit von den eingegebenen Größen. Das Szenarien-Eingabefenster für die Dimensionierung der Zisterne A ist in der Abbildung 7-24 dargestellt.

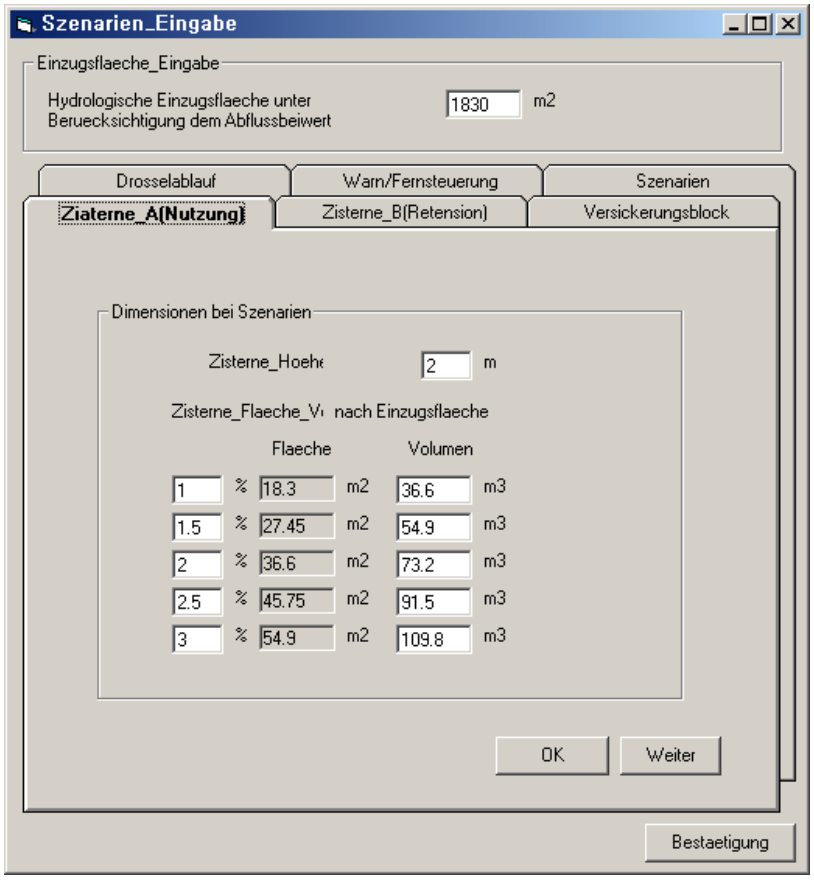


Abb. 7-8 Szenarien-Eingabe Fenster für die Dimensionierung der Zisterne A(Nutzung)

Die Volumina der Zisternen A und B können, auf Grundlage der eingegebenen Zisternenhöhen, leicht errechnet werden(Abb. 7-24). Für das Volumen des Versickerungsblocks ergeben sich insgesamt 15 verschiedene Varianten. Diese Zahl ergibt sich aus den drei möglichen Varianten für die Höhe und den fünf Varianten für die Fläche des Blockes (3×5 = 15).
Für die Entleerung der Zisterne spielt u.a. der Drosselablauf eine große Rolle. Durch ihn ist es möglich in der Zisterne, ohne Stromverbrauch, einen gewissen Pufferraum zu erhalten. Diese Anlagenkomponente kann mit Hilfe von drei Variablen dimensioniert werden. Bei der Abflussberechnung wird für die Öffnungsform eine scharfkantige

Kreisöffnung angenommen (s. Kap. 7.2.4).

Der gesamte Umfang aller Kombinationsvarianten der verschieden Anlagekomponenten umfasst im erstellten Simulationsprogramm 6.750 Möglichkeiten. Für jede dieser Varianten und Anlagendimensionen ergeben sich unterschiedliche Simulationsergebnisse, die mit Hilfe der Datenbankverarbeitung je nach den gewünschten Rahmenbedingungen ausgewählt und im Ergebnis-Fenster angezeigt werden können. Einen Überblick dieser zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten und Dimensionen gibt die Tab.7-5. Die prozentualen Angaben können nach den Ergebnissen von Abgrenzungsmodul mit besserer Übersicht genauer eingegeben werden.

Tab. 7-5 Alle 6.750 möglichen Varianten im Programm

Kompo-nente	Zisterne A	Zisterne B	Versickerungs-block	Drossel-ablauf	Hochwasseralarm und Notpumpe
Dimen-sionen	Tiefe (T: m) : 2 m Sohlfläche (S_j: m^2) $S_1,\ldots,S_5$ = 1; 1,5; 2; 2,5; 3% von A_u	Tiefe (T: m) : 2 m Sohlfläche (S_j: m^2) $S_1,\ldots,S_5$ = 1; 1,5; 2; 2,5; 3% von A_u	Tiefe (T_i: m) : 2; 3; 5 m Sohlfläche (S_j: m^2) $S_1,\ldots,S_5$ = 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5 % von A_u	Durch-messer (Ø) von 8 mm 12 mm 16 mm	Alarmstufe I und II: Innerhalb von 12 Stunden mehr als 80 oder 120 mm/m^2 Niederschlag. Einstellung der Notpumpe 0; 7,2; 14,4 m^3 /hr
Fälle	5 (TxS_j)	5 (TxS_j)	15 (T_ixS_j = 3x5)	3	2 x 3
A_u : undurchlässigen Fläche Gesamtzahl der Varianten : 5 x 5 x 3 x 5 x 3 x 2 x 3 = **6.750**					

Nach dem iterativ durchgeführten Simulationsvorgang kann man alle ausgerechneten und für die vorgegebenen Ziele potentiell geeigneten Anlagendimensionen sowie die ermittelten Ergebnisse als Text-Datenformat(*.txt) speichern. Nach der Verarbeitung der Simulationsergebnisse durch das Datenbankprogramm MS-Access, können die Daten in einer Subroutine „Dimension-Auswahl-Modul“ für die weitere Optimierungen verwaltet werden.

Im Pulldown-Menü „Daten“ dieses Fensters sind Menüpunkte für das Öffnen einer bestehenden Datei und das Speichern von verarbeiteter Datei von 6.750 Varianten zusammengefasst.

Mit den Menüpunkten im Pulldown-Menü „Einzelner Faktor“ können die Simulationsergebnisse nach Ordnungskriterien der Gesamtablaufmenge, der genutzten und versickerten Regenwassermenge sowie der Ablaufintensität geordnet werden. Die Abb. 7-25 stellt die nach der versickerten Niederschlagsmenge angeordneten Varianten.

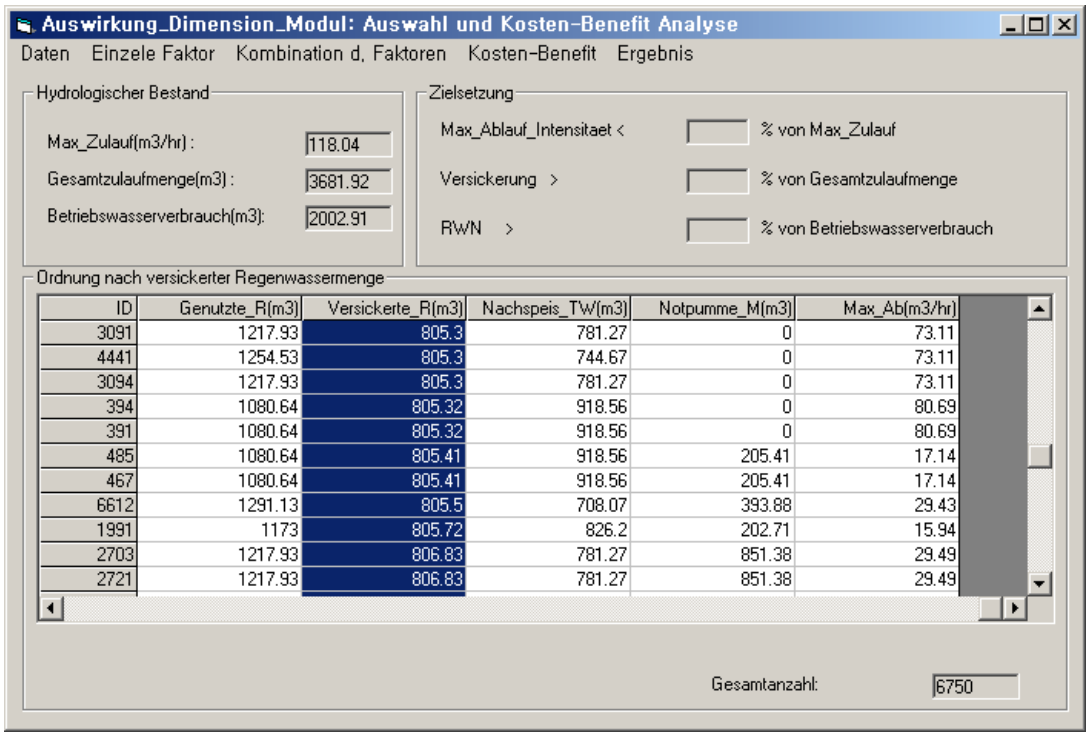


Abb. 7-25 Die nach der versickerten Niederschlagsmenge angeordneten Daten im Optimierungsfenster

Im dem Pulldown-Menü „Kombination der Faktoren“ stehen drei, miteinander verknüpfte Menüpunkte zur Auswahl. Die 1. Menübox gibt die maximale Ablaufintensität im Vergleich zur Zulaufintensität in einem Prozentwert an. Menübox zwei zeigt einen Prozentwert für die Versickerungsmenge bezogen auf die Zulaufmenge. In Menübox Nummer drei wird abschließend die genutzte Regenwassermenge im Bezug auf den gesamten Betriebswasserverbrauch prozentual angegeben. Die Menüpunkte der 3 Boxen können miteinander kombiniert werden. Für jeden Menüpunkt stehen 4 Varianten zur Verfügung. Insgesamt gibt es als 64 (4×4×4) Kombinationsmöglichkeiten, aus denen man beliebig wählen kann (Abb. 7-26).

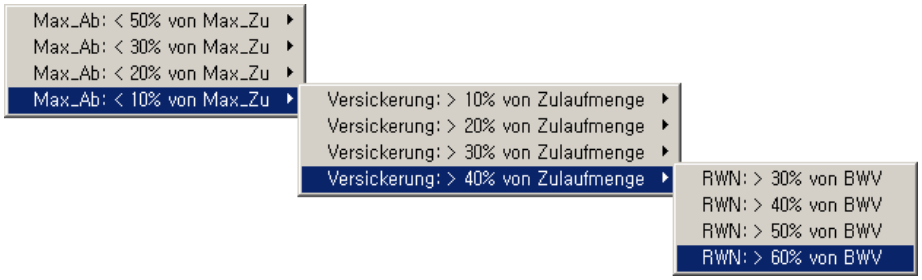


Abb. 7-26 64 Kombinationsmoeglichkeit bei der Zielsetzung

Unter Umständen kann aus der Erhöhung der Trinkwassersubstitution eine Reduzierung der Versickerungsmenge erfolgen. Die Dimensionierung einer Anlage, die für eine große Reduzierung der Ablaufintensität geeignet ist, kann nur relativ wenig Trinkwasser substituieren und wenig Niederschlagswasser versickern. Die

Auswirkungen der Kombination dieser drei Faktoren werden grundsätzlich voneinander und auch von der zeitlichen Niederschlagsverteilung in der betroffenen Region beeinflusst. In der Abb. 7-27 wird die Komplexität der Varianten gezeigt

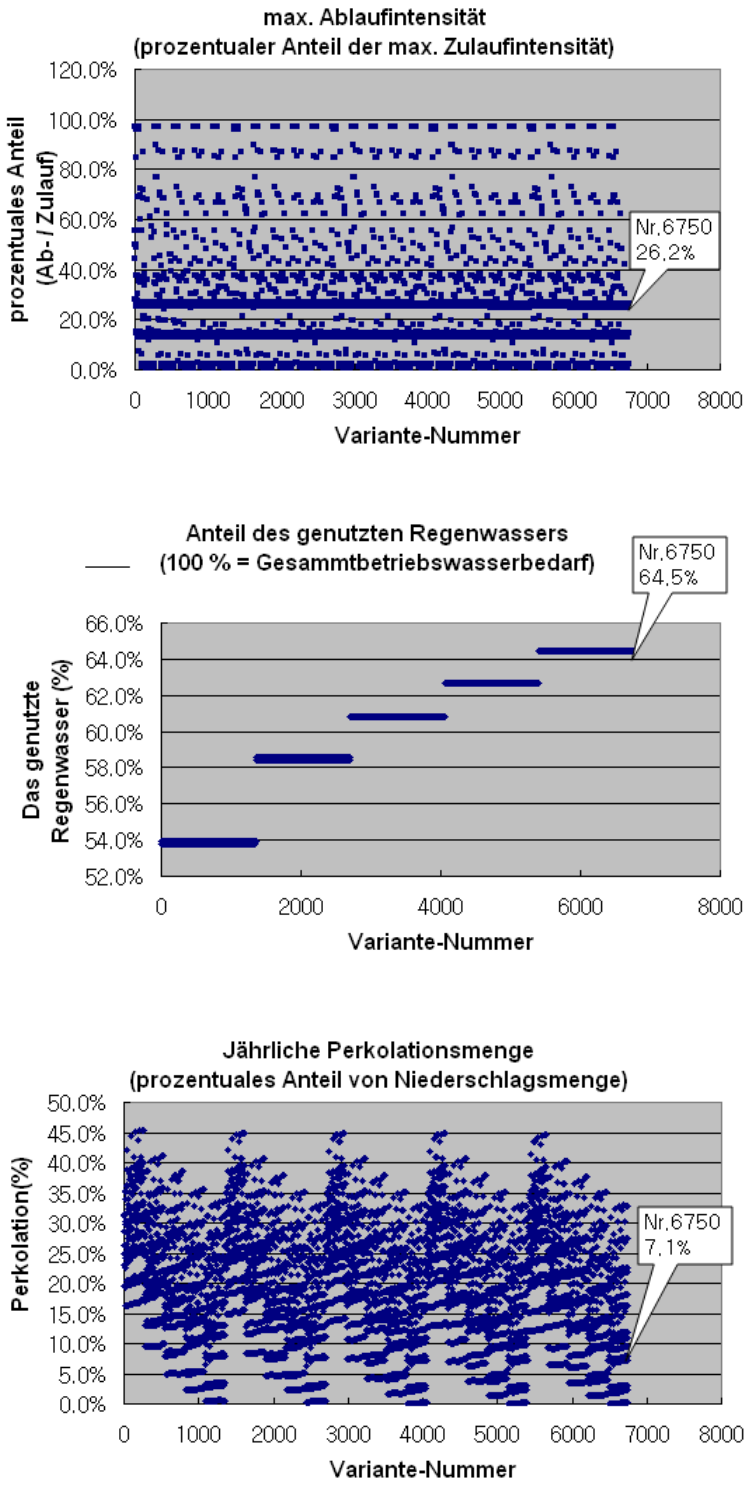
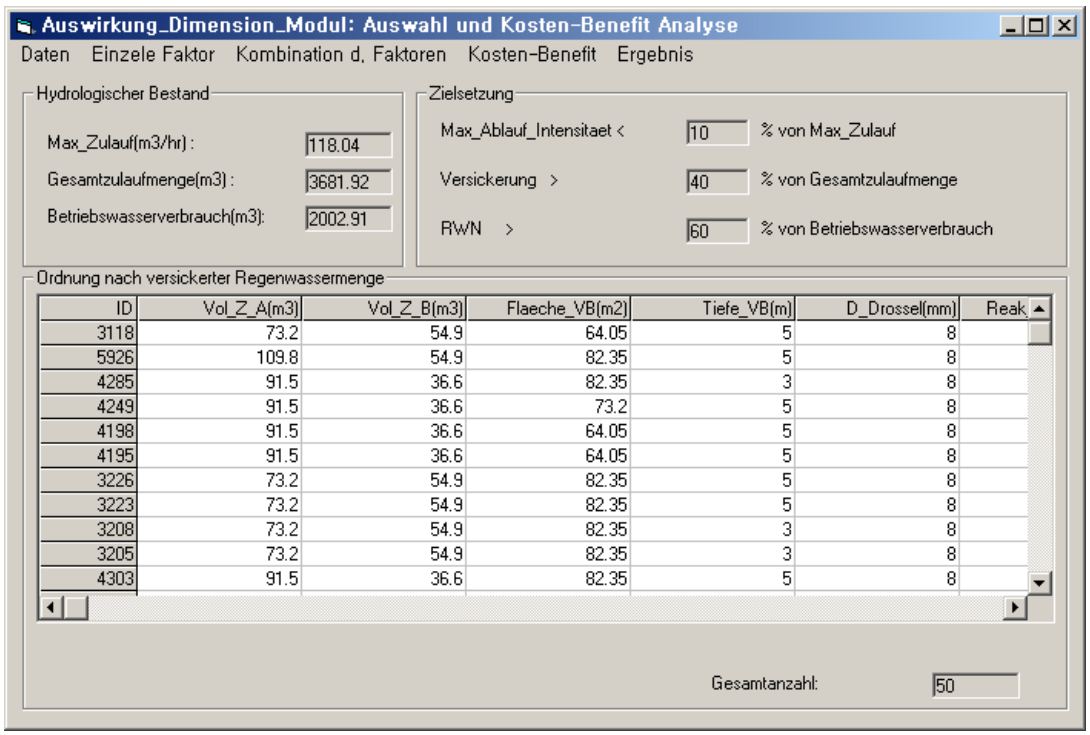


Abb. 7-27 Verteilung der Auswirkungen von der Varianten(Kwon und Diestel, 2007)

Diese gegenseitige Beeinflussung der drei genannten Faktoren macht die Hilfe einer computergestützten Datenbankverarbeitung erforderlich. Durch die folgende

Kombination der Auswirkungen ist es möglich, das potentielle Ziel aus 3 Aspekten zu bestimmen und die entsprechenden Anlagendimensionen auszuwählen. Für das in dieser Arbeit betrachtete Beispiel, das wie in der Abb.7-28 bestimmt ist, wurden folgende Zielsetzungen getroffen.

- Die maximale Ablaufintensität beträgt weniger als 10 % der maximalen Zulauf-Intensität.
- Die Versickerungsmenge ist größer als 40 % der gesamten Zulaufmenge.
- Die genutzte Regenwassermenge ist größer als 60 % des Betriebswasserverbrauchs.



ID	Vol_Z_A(m3)	Vol_Z_B(m3)	Flaeche_VB(m2)	Tiefe_VB(m)	D_Drossel(mm)	Reak
3118	73.2	54.9	64.05	5	8	
5926	109.8	54.9	82.35	5	8	
4285	91.5	36.6	82.35	3	8	
4249	91.5	36.6	73.2	5	8	
4198	91.5	36.6	64.05	5	8	
4195	91.5	36.6	64.05	5	8	
3226	73.2	54.9	82.35	5	8	
3223	73.2	54.9	82.35	5	8	
3208	73.2	54.9	82.35	3	8	
3205	73.2	54.9	82.35	3	8	
4303	91.5	36.6	82.35	5	8	

Abb. 7-28 Die ausgewählten Varianten nach der Zielsetzung

Durch die Auswahl einer bestimmten Kombination für die Faktoren Ablaufintensität, Versickerungsmenge und Nutzungsmenge wird die Anzahl der potentiell geeigneten Anlagenkonzeptionen weiter eingeschränkt. Die Liste der verbleibenden Möglichkeiten, in dem betrachteten Beispiel sind es noch 50 Varianten, wird dann erneut im Optimierungsfenster angezeigt.

7.5.3. Auswahl nach der Kosten-Nutzen-Analyse

Nach der vorangegangen weiteren Selektion ergibt sich die Frage, welche der verbliebenen Varianten für die endgültige Verwendung nach der Zielsetzung am besten geeignet ist. Bei dieser Entscheidung spielt auch die Wirtschaftlichkeit der Anlage eine große Rolle. Um diesen Faktor in die Auswahl einzubeziehen, steht in diesem Programm eine Kosten-Nutzen-Analyse zur Verfügung. Im Rahmen dieses

Programmes wurde dieser Aspekt allerdings stark vereinfacht. Im dem Pulldown-Menü „Kosten-Nutzen-Analyse“ gibt es insgesamt vier Menüpunkte, in denen jeweils die Eingabe der Baukosten, der Betriebskosten, der möglichen Trinkwassereinsparung und aktuellen Regenwasserentgelte möglich ist.

a) Kosten

Für jede Anlagekomponente gibt es ein Fenster zur Eingabe der Baukosten. Neben dem Grundpreis für die Installation können hier die Zusatzkosten der Anlage entsprechend eingegeben werden. Die Abbildung 7-29 zeigt das Eingabefenster für die Baukosten der Anlagenkomponente „Notpumpen“.

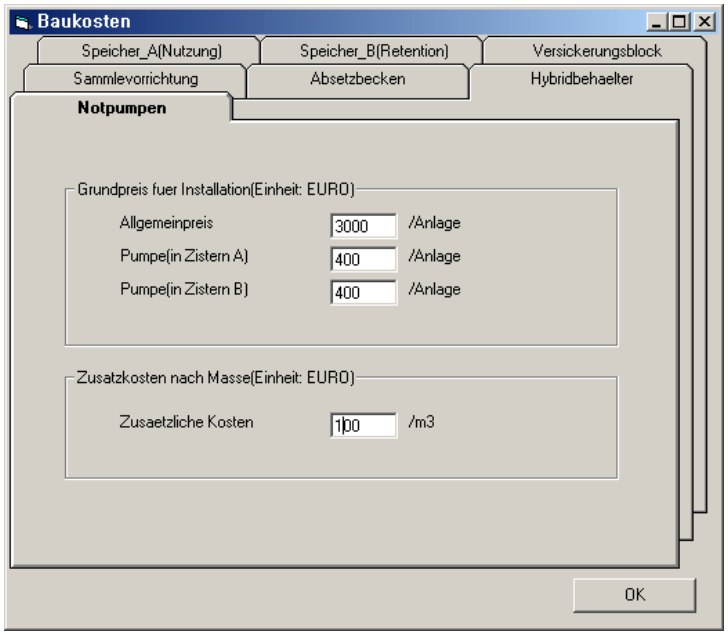


Abb. 7-29 Baukosten-Eingabe-Fenster

Die Betriebskosten setzen sich aus den allgemeinen Wartungskosten und dem Stromverbrauch zusammen. Unter den Wartungskosten sind hier pauschale Personalkosten für Wartung und Reinigung der Anlage, für den Zeitraum eines Jahres zu verstehen. Der Stromverbrauch kann über die technischen Daten der verwendeten Geräte abgeschätzt werden. Dieser Kostenfaktor kann dann über ein eigenes Fenster (Abb. 7-30) in die Berechnung einbezogen werden.

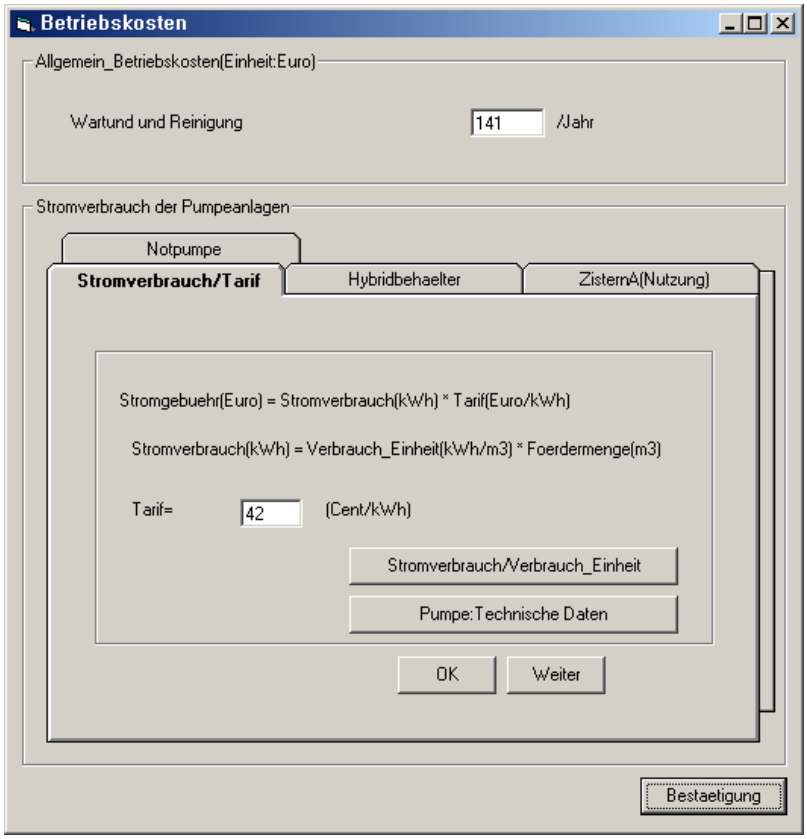


Abb. 7-30 Betriebskosten-Eingabe-Fenster

b) Nutzen

Durch den Betrieb einer dez. RWB-Anlage ist es möglich, in einigen Bereichen (z.B. Toilettenspülung, Hausreinigung, Autowaschen und Gartenbewässerung) Trinkwasser durch Regenwassernutzung zu substituieren. Um diesen Nutzen quantifizierbar zu machen, kann die aktuelle Gebührenangabe über das so genannte Nutzen-Fenster in den Analysealgorithmus übernommen werden.

Das entscheidende Motiv für die Einführung eines Niederschlagsentgeltes war der Wunsch, ein verursachergerechtes Entgeltsystem zu schaffen. Weiterhin soll mit der Einführung getrennter Entgelte für Schmutz- und Niederschlagswasser eine höhere Entgeltgerechtigkeit erreicht werden (Hennig, 2000). Ein solches Entgeltsystem ist in Korea noch nicht eingeführt. Es ist jedoch trotzdem sinnvoll, diesen Faktor in der Kosten-Nutzen-Analyse zu berücksichtigen.

Der Regenspeicher dez. RWB-Anlagen besitzt ein großes Potenzial zur Rückhaltung von Regenwasser bei Hochwasserereignissen, während die Einsparung von Trinkwasser durch Regenwassernutzung in Korea aufgrund des niedrigen Trinkwasserpreises noch eine relativ kleine Rolle spielt. Hier geht es primär darum, wie man dieses Potenzial zur Rückhaltung als positive Auswirkung auf die Kanalisation in ökonomische Anreize übertragen kann.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine neue Methodik vorgestellt. Durch die Simulation der Anlagekomponenten wird die Zu- und Ablaufintensität berechnet. In diesem

Programm wurde die Reduzierung der Ablaufintensität auf die Reduzierung der undurchlässigen Auffangsfläche umgerechnet. Unter der Voraussetzung, dass die Ablaufintensität um 50 % reduziert werden würde, wäre auch die undurchlässige Auffangsfläche um 50 % äquivalent kleiner. Daraus könnte eine Befreiung von dem Niederschlagsentgelt um bis zu 50 % resultieren. Weil die Niederschlagsintensität und die Hochwasserschäden in Korea in den Sommermonaten sehr hoch sind, könnte diese Art des Entgeltssystems eine geeignete und angepasste Alternative darstellen. Auf diese Art und Weise kann der Nutzen der RWN-Anlagen im Verbund mit Versickerungsanlagen hinsichtlich des Niederschlagswasserentgelts angefordert werden.

c) Anordnung und Auswahl nach der Kosten-Benefit-Analyse

In dem Menü „Kosten-Nutzen-Analyse“ werden alle Kosten- und Nutzenfaktoren zusammen gerechnet und die Ergebnisse dargestellt. Ein Gewinn durch die Anlage entsteht erst ab dem Zeitpunkt, wo die akkumulierten Einsparungen größer sind als die verursachten Kosten. Eine Verzinsung der einzelnen Werte wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Da die Voraussetzungen zur umfassenden Beachtung des Nutzenfaktors in Korea in der Praxis leider noch nicht immer realisierbar sind, insbesondere bezüglich der Einsparung der Betriebskosten, haben hier vor allem die Baukosten eine relativ große Bedeutung für die Entscheidungsträger. Aufgrund der bereits getroffenen Vorauswahl stehen, in dem betrachteten Beispiel, noch 50 geeignete Anlagenkonzepte zur Auswahl. Diese können nun in dem Optimierungsfenster hinsichtlich ihres Ergebnisses bei der „Kosten-Nutzen-Analyse“ sortiert werden.

Die Darstellung der verbliebenen Anlagendimensionierungen nach der „Kosten-Nutzen-Analyse“ zeigt die Abb. 7-31.

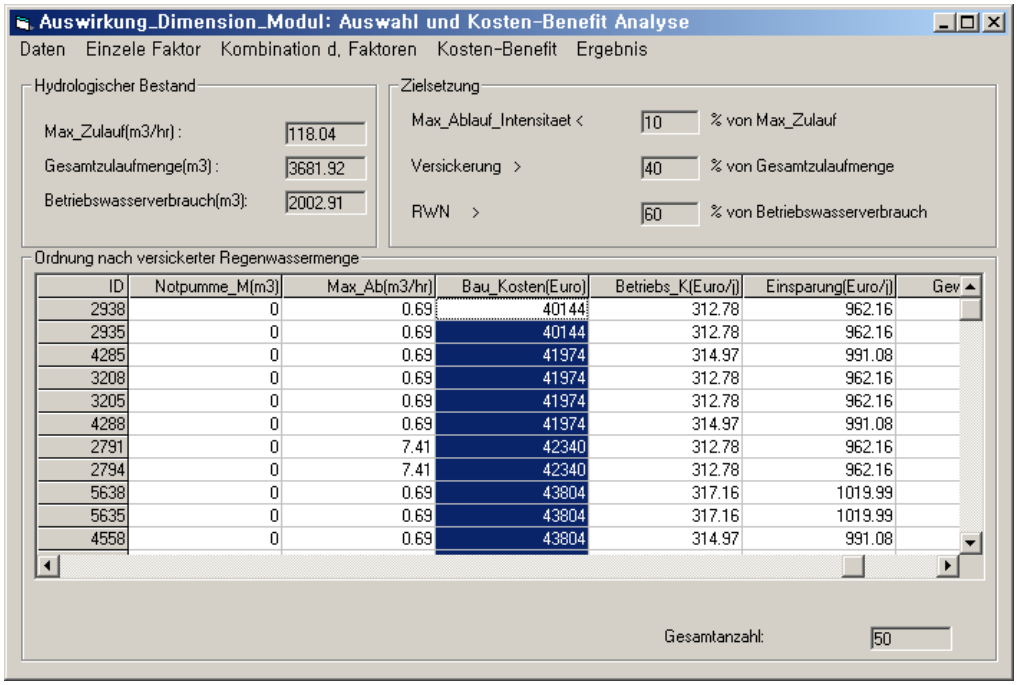


Abb. 7-9 Sortierung der Ergebnisse nach Baukosten

Die erzielten Ergebnisse können mit Hilfe des Speicher-Dialogfensters als Text-Datenformat (*.txt) gespeichert werden. Danach können diese Daten in Office-Programmen wie z.B. Excel weiter verarbeitet werden.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde auf der Basis eines Computerprogrammes ein Entscheidungshilfesystem nämlich *„RainCity“* für die Planung dezentraler Regenwasserbewirtschaftung(RWB) entwickelt. Dieses Programm besteht aus zwei Simulationspakete *„RainCity-Balance“* und *„RainCity-Combi“*.

Simulationspaket: *“RainCity-Balance”*

Das*“RainCity-Balance”* berücksichtigt die planerischen Handlungskomponenten Verdunstung, Nutzung und Versickerung auf der Grundlage von Tageswerten und Bemessungsregen für regional unterschiedliche Klimabedingungen weltweit.

- Verdunstung

Zur Berechnung einer Wasserbilanz unter Berücksichtigung der Verdunstung wurden, insgesamt 4 Subroutinen entwickelt.

①Klimatische Wasserbilanz: Erforderliche Bewässerungsmenge für Dach- und Fassadenbegrünung sowie für teilversiegelte Flächen

②Wasserbilanz von Stadtgewässern: Erforderliche Wassermenge für den Erhalt kleiner stehender Gewässer und Teichen in der Stadt

③Bodenwasserbilanz: Berechung des perkolierten Regenwassers durch Bodenpassage, Verdunstungsmenge und Änderung des Wassergehaltes im Boden

④Strahlungsenergiebilanz: quantitative Darstellung der Strahlungsenergie, die bei der Evapotranspiration zu latenter Wärme umgewandelt wird.

- Nutzung

Für Abschätzungen des Regenwasserspeichers werden verschiedene Subroutinen für Zulaufmengen, Betriebswasserverbräuche und -verteilungen sowie für die Darstellung der ermittelten Ergebnisse bereitgestellt. Im Rahmen dieser Handlungskomponente lassen sich weiterhin verschiedene Parameter bei der Simulation variieren. Nach Literaturangaben wurden gängige Werte bereits voreingestellt. Diese können im Laufe der Simulation aber beliebig verändert werden. Das Bilanzierungsergebnis lässt sich für den Zeitraum eines Jahres in Abhängigkeit von der Auffangfläche und Einwohneranzahl des untersuchten Gebietes darstellen. Aus diesen Ergebnissen kann dann die optimale Größe der Regenwasserspeicher bestimmt werden.

-Versickerung

Zur Unterstützung der planerischen Arbeit über die Handlungskomponente „Versickerung“ kann die Dimensionierung der Versickerungsanlagen, nämlich Flächenversickerung, Muldenversickerung, Rohr- und Rigolenversickerung und

Schachtversickerung, gemäß DWA A-138 durchgeführt werden. Dafür stehen ebenfalls verschiedene Berechnungssubroutinen, wie z.B. für die Ermittlung der Auffangfläche, für die Eingabe der verschiedenen Rahmenbedingungen und für die Ergebnis-darstellung, zur Verfügung.

Simulationspaket: *„RainCity-Combi“*

Aus den allgemeinen Bilanzierungsansätzen des Simulationspaketes *“RainCity-Balance”* wurde, als regional-spezifische Kombination der Maßnahmen, das Simulationspaket *„RainCity-Combi“* für die Bedingungen in Korea entwickelt. Das Simulationspaket berücksichtigt eine Anlagenkombination aus Absetzschacht, Speicher, Tagesbehälter, Drosselablauf, Versickerungsblock und Notpumpe. Die Simulationsdurchführung basiert, im Gegensatz zum *“RainCity-Balance”* auf stündlichen Niederschlagsdaten. Das Paket umfasst zwei Simulationsmodule. Dies sind die so genannte „Dimension-Auswirkung-Modul“ und die „Auswirkung-Dimension-Modul“. Für beide Methodiken wurden jeweils drei Auswirkungskriterien zu Grunde gelegt. Dies sind:

① Deckungsgrad des Betriebswasserverbrauchs durch Regenwasser
② Reduzierung des Spitzenabflusses
③ Anteil des versickerten Regenwassers an der jährlichen Niederschlagsmenge.

Dimension-Auswirkung-Modul
Dieses Modul ermöglicht eine Lastfallsimulation mit Bemessungsregen sowie eine kontinuierliche Simulation auf der Grundlage stündlicher Niederschlagsdaten. Die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen zeigten, dass unter koreanischen Bedingungen, die Kombination der Speicher (Nutzung und Retention) im Verbund mit Versickerungsblock, Drosselablauf und Notpumpe mit Hochwasseralarmsystem einen entscheidenden Einfluss für die drei genannten Auswirkungskriterien hat.

Auswirkung-Dimension-Modul
Um sich einer geeigneten Dimensionierung der Anlagekomponenten systematisch zu nähern, wurde das „Auswirkung-Dimension-Modul“ entwickelt. Hierfür wird zunächst eine Datenbank mit potentiell denkbaren, bzw. geeigneten Anlagenkonzeptionen und Dimensionierungen erstellt. Diese wird dann schrittweise durch verschiedene Auswahlkriterien eingegrenzt. Mit Hilfe einer „Kosten-Nutzen-Analyse“ ist dann eine weitere Einschränkung für die günstigste Anlagekombination möglich.

Mit dieser Herangehensweise und dem bereitgestellten Entscheidungshilfesystem kann die Komplexität und der Aufwand bei der Planung und Dimensionierung

dezentraler RWB-Anlagen erheblich erleichtert werden.

Um die klare Anwendungsmöglichkeit des Simulationspaketes *“RainCity-Balance”* zu zeigen, sollen noch mehrere Beispiele von anderen Klimazonen der Welt gebracht werden. Im Paket B wird durch noch konkretere Berechungsalgorithmen zukünftig verbessert.
Im Simulationspaket *„RainCity-Combi“* kann die Kombinationsvariate z.B. mit der Integration von Dach- und Fassadenbegrünung, durchlässige Bodenbeläge, Grauwassernutzungsanlage erweitert werden. Diese Integration ist dann möglich, wenn die entsprechenden Wasserhaushaltsmodelle der jeweiligen Maßnahme vorhanden sind. Dafür sind die Versuchsvorhaben vor Ort und modelltechnische Verarbeitung erforderlich. Bei der Vorbereitung und Modellierung beitragen.

In der Kosten-Nutzen-Analyse wurde es versucht, die wirtschaftlliche Aspekte nicht nur inhaltlich sonder auch programmiertechnisch zu integrieren. Obwohl die Eingabefenster nicht konkreter genug ist, um die akktuelle Bau- und Betriebskosten in der Praksis aufzunehmen. Aber hier wurde die Herangehensweise vorgestellt. Insbesondere wie man die Reduzierung der Abflussintensität ins Niederschlagsentgeltsystem bringen kann. Trotzdem bleibt der weitere und ausführliche Ergänzungsbedarf sehr groß.

9. Literatur

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes und M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and dranage paper 56. Rome.

ATV-A118. 1999. Hydraulische Bemesssung und Nachweis von Entwässerungssystemen. GFA. Hennef.

ATV-A105. 1997. Wahl des Entwässerungssytems. GFA. Hennef.

ATV-DVWK-M153. 2000. Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. GFA. Hennef.

ATV-DWVK- M 504. 2002. Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.. GFA. Hennef.

Barjenbruch, M. 2007. Die Ressource Wasser ist nicht unbegrenzt. Zeitungsartikel von taz. am 02.04.2007

Bastian, H.W. 1999. Selbst Regenwassernutzsysteme anlegen. München. ISBN 3-8174-2249-0

Beneke,Gudrun.1998. Akzeptanz neuer Verfahren im Umgang mit Regenwasser In. Sieker, Friedhelm, Herausgeber. 1998. Naturnahe Regenwasserbewirtscaftung. Stadtökologie Band 1. Analytica Verlag. Berlin.

Bölter, C. 2001. Regenwassernutzung im nicht privaten Bereich. Eine technische und wirtschaftliche Analyse dargestellt am Beispiel des Fraunhofer-Institutszentrum Dresden. In. Krebs, P. / Günther, E. / Obenaus, G. Herausgeber. Dresdner Beiträge zur Lehre der Betrieblichen Umweltökonomie. Nr. 08/2001

Bramm, Jürgen. 1998. Stadtentwicklungsplan Ver- und Entsorgung. Berlin. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung. Umweltschutz und Technologie.

BUWAL(Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft). 2002 Ökobilanz von Trinkwasserversorgung und Regenwassernutzung. UMWELT-MATERIALIEN NR. 147. Bern

Christian van Lessen. 2005. “Stickiges Milieu” in Tagesspiegel. 05. Juli 2005

Chung, Dong Yang. 2005. Wasserbauliche Analyse der renaturierten Cheongyecheon. In. Zeitschrift Landscape and Environment. Vol. 05(10).

Coenenberg, A.G., T. Fischer und J. Schmitz.1994. Target Costing und Product Life Cycle Costing als Instrumente des Kostenmanagements. In. Zeitschrift für Planung. 1994. Nr. 5

Diestel, H., Brechtel, H.-M., Bobert, J., Schliep, R. and Schmidt, M. 1998. A set of routines for assessing site potential for making use of occult precipitation: Design proposal and status report. Proceedings, First International Conference on Fog and Fog Collection. Vancouver, Canada. Intern. Dev. Research Center,

Ottawa: 49-52.

Diestel, H., Bobert, J., Schliep, R. and Schmidt, M. 1998. Development of modules for a decision support system for water harvesting with ponding and supplemental irrigation. Internal Paper, FAO, Rome. 51 pp.

Diestel, H. and Schmidt, M. 1998. Wasserwirtschaftliche Vision: Die abflußlose Innenstadt - ein richtiger Ansatz? Dokumentation Zukunft Wasser zum Symposium zur Nachhaltigkeit im Wasserwesen in der Mitte Europas, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin: 98-103.

Diestel, H. 2004. Dezentrale Abflussbewirtschaftung - Eine wichtige Aufgabe der Gegenwart. In Space and Theories: e-Interviews with Distinguished Scholars. Herg. KRIHS(Korea Research Institute for Human Settlements). ISBN 89-460-3350-9 93300. Seoul Korea.

DIN 1989-1. 2002. Regenwassernutzungsanlagen. Teil 1: Plaung, Ausführung, Betrieb und Wartung. Beuth Verlag. Berlin

DIN. 1989-2. 2004. Regenwassernutzungsanlagen. Teil 2: Filter. Beuth Verlag. Berlin

DIN 4049-3. 1996. Hydrologie. Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie.

DIN EN ISO 14040. 2006. Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen. Ausgabe 2006 Okt.

Disse, M.1995. Modellierung der Verdunstung und der Grundwasserneubildung in ebenen Einzugsgebieten. Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Univ. Karlsruhe. Heft 53.

Diwisch, Sabine. 2000. Versiegelungsgebührenmodell in Giessn. In. Info Forum Regenmanagement: Regenwasserbewirtschaftungssysteme in Berlin und Brandenburg. GEO Agentur. Berlin.

Dreiseitl, Herbert. 1999. Kreative Lösungen für schwierige Standorte Regenwasser-abkopplung geht immer und überall In. Londong, D. und A. Nothnagel, Herg. Bauen mit dem Regenwasser - Aus der Praxis von Projekten. R. Oldenbourg Industrieverlag. München

DVWK M 238. 1996. Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Markblätter zur Wasserwirtschaft. Nr.238

DWA A138. 2002. Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Ver-sickerung von Niederschlagswasser Hydraulische Bemesssung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. GFA. Hennef.

Dyck, S. und G. Peschke. 1983. Grundlagen der Hydrologie. Berlin, Muenchen. ISBN 3-433-00947-3

Environment und Landscape(ELA). 2005. Foto. Zeitschrift. Vol. 05(10)

Europäisches Umweltbüro. 2003. Handbuch zur EU Wasserpolitik und im

Zeichen der Wasser Rahmenrichtlinien

Falkenmark, M und C. Widstrand. 1992. Population and Water Resources: A Delicate Balance, Population Bulletin. Washington, DC: Population Reference Bureau.

Fischer-Distaso, Katrin. 2003. Landschaftsarchitektonische Aspekte von dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Berlin und daraus resultierende Lösungsansätze für koordinierte Planungen. Diplomarbeit an der TU Berlin

Furguson, Bruce K. 1994. Stormwater Infiltration. Lewis Publishers. Florida. ISBN 0-87371-987-5

Gantner, Kathrin, 2002. Nachhaltigkeit urbaner Regenwasserbewirtschaftungs-methoden. Dissertation. TU Berlin.

Geiger, W. F. und H. Dreiseitl, 2001. Neue Wege für das Regenwasser. Verlag Oldenbourg. München.

Glugla, G., P. Jankiewicz, C. Tachimow, K. Lojek, K. Richter, G. Fürtig, und P. Krahe. 2002. Wasserhaushaltsverfahren BAGLUVA zur Berechung vieljährichen Mittelwerte der tatsächlichen Verdunstung und des Gesamtabflusses. BfG-Bericht, Nr. 1342, Bundesanstalt für Gewässerkunde. Berlin und Koblenz

Goedecke, M und M. Klein.1998. Versickerung und Verdunstung. In. Stadtforum, Journal der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz 31, August 1998.

Han, Moo Young. 2003. Wassermangel auf der Welt und Essgewohnheit. http://blog.daum.net/_blog/ArticleCateList.do?blogid=095k1&CATEGORYID=374799&dispkind=B2201#ajax_history_home

Hennig, Bernd. 2000. Getrennte Entgelte für Schmutz- und Niederschlagswasser in Berlin. In. Info Forum Regenmanagement: Regenwasserbewirtschaftungs-systeme in Berlin und Brandenburg. GEOAgentur. Berlin

Herrmann, T. und U. Schmida. 1996. Regenwassernutzung Teil I -Hydraulische Aspekte für die Stadtentwässerung. In Stadtentwässerung und Gewässer-schutz Heft 36. Hannover

Herrmann T. und U. Schmida.1996. Regenwassernutzung Teil II -Nutzung und Versickerung im Verbund. In Stadtentwässerung und Gewässerschutz Heft 36. Hannover

Herzer, Patrik. 2004 Einflüsse einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung auf den Städtebau – Räumliche, ökonomische und ökologische Aspekte. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart. ISBN 3-8167-6440-1

Hildebrand, T. und H. Hiessl. 2006. Sich änderende Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme Teil1. Klimawandel, demographischer Wandel, neue ökologische Anforderungen. 1265-1271. KA-Abwasser, Abfall 2006(53) Nr. 12.

Imhoff, Karl und Klaus R. Imhoff. 1999. Taschenbuch der Stadtentwässerung. Oldenbourg.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Climate Change 2001. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/

Kaiser, Mathias. 1997. Einsparung von Baukosten und Gebühren durch naturnahe Regenwasserbewirtschaftung. In. Neue Landschaft. Heft 10.

Katrin Fischer-Distaso.2003. Landschaftsarchitektonische Aspekte von dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Berlin. Diplomarbeit. TU Berlin

Kim, In-Hee. 2003. Stadtentwicklung und Planungskultur in Seoul - Ursachen und Auswirkungen der Stadtentwicklung in der Modernisierungsphase von 1963 – 1996. Dissertation. TU Berlin

Kim, Kwang-Joong. 2001. Residential Redevelopment in Seoul: Public Substandard Housing Renewal Programm In. Kwon, Won-Yong und Kwang-Joong Kim, Herausgeber. Urban Management in Seoul-Policy - Issues and Responses. Seoul Development Institute.

Kim, Kab Soo. 2003. A Study on preventing flood damage and water saving through rainwater utilization. 2003 - R -13. Seoul Development Institute.

Kim, K.S. und Y.R. Kim. 1998. Standards of Stormwater Control Facilities. Seoul. Seoul Development Institute

Kim, K.S. und J.H. Yang. 2004. Basic Study on the Hausehold Consumption of Tap Water. Seoul Development Institute. Seoul

Kim, Young Ran. 2004. Application of Stormwater Detention Facilities for Reducing of Flood Damage in Seoul. Seoul Development Institute. Seoul.

Kim, Yeon Hee. 2005. Auswirkung der Urbanisierung auf die Niederschlags-ereignisse in der Stadt Seoul, Zeitschrift "Studien fuer Seoul Urban" Vol. 6(2). Seoul Development Institute (SDI)

König, Gustav. 1894. Über die Kanalisation kleinerer Städte und Reinigung der Abwässer

König, K.W. 1996. Regenwasser in der Architektur - Ökologische Konzept. Ökobuch Verlag. Freiburg.

Korea Institute of Construction Technology (KICT). 2000. Der Bemessungsregen Koreas. Seoul. Korea

Korea Meteorological Administration. 2004. Klima 100 Jahre auf der koreanischen Halbinsel - Tendenz und Zukunft. Korea Meteorological Administration. Seoul. Korea.

Korea Water Resources Corporation. 2002. Basic Features of Water Resources in Korea. Daejon. Korea.

Koreanische Übersee Informationsdienst. 2003. Tatsachen über Korea. Staatlichen Informationsamt.

Kwon, Kyung Ho. 1999. A Study on the Design Guidelines for the natural drainage system of stormwater – Focusing on the water cycle system in an eco city using Bio-swale and detention-infiltration basins. Masterarbeit. Seoul National

Univ. Seoul. Korea

Kwon, Kyung Ho und Heiko Diestel. 2007. A decision support system for planning decentral rain water management measures in urban zones of Korea. 2nd International Congress on Environmental Planning and Management. Aug. 2007. Berlin

M. Becker und K. Wessels. 2007. Das Bewirtschaftungsinformationssystem Regenwasser-Ein GIS-Portal für die naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in der Emscherregion, KA Abwasser Abfall 54.Jahrgang. Nr. 6.

Malin Falkenmark und Carl Widstrand.1992. Population and Water Resources: A Delicate Balance, Population Bulletin. Washington, DC

Marcard und Kissel.1999. Gesetzliche Grundlagen für die Regenwassernutzung und Versickerung. Schulungszentrum Regenwassernutzung. Kefenrod

Ministry of Construction and Transportation (MOCT). 2006. Langfristige Planung der Wasserressourcen

Ministry of Construction and Transportation (MOCT). 2006. Water and Future

Ministry of Environment (MOE). 2003. Statistics of water

Ministry of Environment (MOE). 2005. Statistics of sewerage

Rawls, W.J., K.L. Brakensiek und K.E.Saxton. 1982. Estimation of Soil Water Properties. In Transactions of the American Society of Agricultural Engineers Vol. 25. No.5.

Pecher, R., H. Schmidt und D. Pecher. 1991. Hydraulik der Abwasserkanäle in der Praxis. Paul und Parey Verlag. Hamburg und Berlin

Population Activity International(PAI). 1997. Sustaining Water : Easing Scarcity

Reichmann, B. und E. Nolde. 2001. Regenwassernutzung im Ballungsraum, Ein Beispiel aus Berlin-Lankwitz. Berlin.

Scheffer, F. und P. Schachtschabel. 2002. Lehrbuch der Bodenkunde. ISBN 3-8274-1324-9.

Schmidt, M. und A. Schorb. 1995. Stoffstromanalysen in Ökobilanzen und Öko-Audits. Berlin und Heidelberg. ISBN. 3-540-59336-5

Schmidt, M. und K-H, Kwon. 2006. Optimization of measures of decentralized runoff management under Korean conditions. Endbericht. Im Auftrag von KICT. Berlin

Schmidt, Marco.2003. Regenwasserbewirtschaftung in Berlin. Ausgabe für Fachführung. (intern)

Schmidt, Marco. 2002. Aufbereitung und Nutzung von Niederschlagswasser aus dem Regenkanal im stadtökologischen Modellvorhaben Belß- / Lüdeckestraße in Berlin- Lankwitz. Endbericht.(Intern)

Schneider, C. 2003. Computergestützte Entscheidungsunterstützngssysteme. KA-Abwasser, Abfall 2003(50) Nr.2.

Schütze, T. 2005 Dezentrale Wassersysteme im Wohnungsbau internationaler

Großstädte am Beispiel der Städte Hamburg in Deutschland und Seoul in Süd-Korea. Dissertation, Norderstedt, Germany.

Schuhmacher, H. und Thiesmeier, B. 1991. Urbane Gewässer. Essen. ISBN. 3-89432-035-4

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. 2001. Ökologischen Planungs-kriterien für Wettbewerbe

Senatverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. 2003. Innovative Wasserkonzepte : Betriebwassernutzung in Gebäuden. Berlin.

Seoul Development Institute (SDI), 2000. Thematic Maps of Seoul. Seoul. Korea

Seoul Metropolitan Government. 2000. The present situation of habitats in Seoul and the demand for ecological city development. Seoul, Korea

Seoul Metropolitan Government. 2001. Waterworks in Seoul. Seoul. Korea

Seoul Metropolitan Government. 2002. Tariff for public water supply. Seoul. Korea

Seoul Metropolitan Government. 2004. Seoul Waste Water Statistics. Seoul. Korea

Sieker, Friedhelm, Herausgeber. 1998. Naturnahe Regenwasserbewirtscaftung. Stadtökologie Band 1. Analytica Verlag. Berlin. ISBN 3-929342-31-6

Sim, J.H. 1998. Study on the storage and infiltration facilities for reducing of runoff quantity (I). National Institute of Disaster Prevention.

Sponagel, Herbert, Herausgeber. 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover. ISBN 3-510-95920-5

Stadt Braunschweig. 1999. Satzung über die Erhebung von Gebühren und Kostenerstattungen für die Abwasserbeseitigung in der Stadt Braunschweig

Stadt Freiburg. 2001. Satzung über die Erhebung von Gebühren für die Abwasserbeseitigung(Abwassergebührensatzung). Freiburg

Ulmschneider, M. 2004. Life Cycle Costing (LCC) und Life Cycle Assessment (LCA) – eine Übersicht bestehender Konzepte und deren Anwendung am Beispiel von Abwasserpumpstationen In: Günther, E. / Will, G. Hoppe, H. (Hrsg.) Dresdner Beiträge zur Lehre der Betrieblichen Umweltökonomie Nr. 16/2004

Umweltbundesamt. 2006. Versickerung und Nutzung von Regenwasser - Vorteile, Risiken, Anforderungen. Dessau

UNESCO. 2003. Water for People, Water for Life - The United Nations World Water Development Report
http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr1/table-_contents/index.shtml

Weischef, W. und W. Endlicher. 2000. Regionale Klimatologie. Teil 2. Die Alte Welt : Europa, Afrika, Asien. Schriftenreihe Teubner-Studienbücher der Geographie. ISBN 3-519-03434-4.

Wegehenkel, M., Y. Zhang, T. Zenker, H. Diestel. 2008. The use of lysimeter data for the test of two soil water balance models - a case study. JPNS.

Wohlrab, B., H. Ernstberger, A. Meuser und V. Sokollek. 1992. Landschaftswasserhaushalt. Paul Parey Verlag. Hamburg und Berlin. ISBN 3-490-19116-1

Zehbold, C. 2001. Life Cycle Costing. In. krp-Sonderheft, Nr. 3/2001. S.41-43.

Zenker. 2003. Verdunstungswiderstände und Gras-Referenzverdunstung - Lysimeteruntersuchungen zum Penman-Monteith-Ansatz im Berliner Raum. Dissertation. TU Berlin.

http://www.solarplanet.de/PDFs/RainOptimo.pdf

http://www.rainplaner.de/

http://www.sieker.de/

http://www.itwh.de/S_atvxls.htm

http://www.ifs-hannover.de/software/erwin/erwin.htm

http://www.ecd.emprise.de/wps/wcm/connect/ecd/ecd/informationen/projekte/projekte-nach-branchen/umwelt/

http://www.kma.go.kr/kor/weather/climate/climate_04_01.jsp

http://www.networks-group.de/

http://www.bmu.de/allgemein/aktuell/160.php

Anhang

A-1 : Bemessungsregen für Seoul Korea

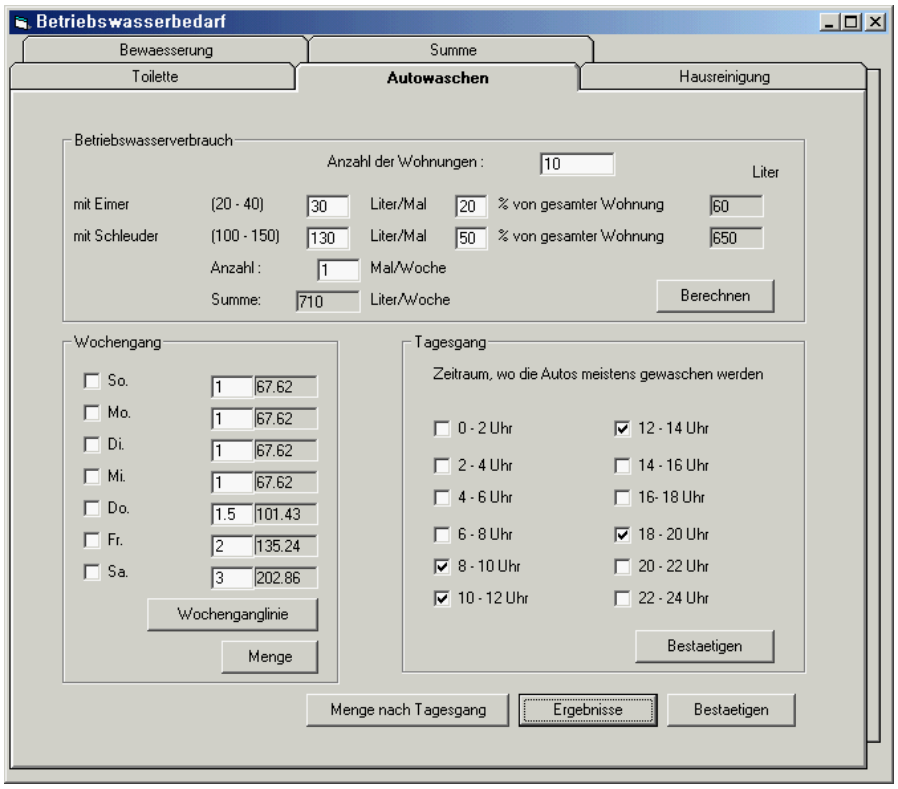
Wieder -kehrzeit (Jahre)	Regendauer								
	10min	20min	30 min	40 min	50 min	60 min	90 min	2 hour	3 hour
2	14.3	21.7	28.3	33.9	38.6	43.0	53.4	61.1	72.3
3	17.3	26.3	34.1	41.0	46.9	52.0	64.3	73.1	86.0
5	20.7	31.4	40.7	48.9	56.1	62.1	76.3	86.5	101.3
10	25.0	37.9	48.9	58.9	67.6	74.8	91.5	103.4	120.4
20	29.1	44.0	56.8	68.4	78.6	87.0	106.1	119.5	138.8
30	31.5	47.6	61.3	73.9	85.0	94.0	114.5	128.8	149.4
50	34.4	52.0	67.0	80.8	93.0	102.8	125.0	140.4	162.6
70	36.4	54.9	70.7	85.3	98.2	108.5	131.9	148.0	171.3
80	37.1	56.1	72.2	87.1	100.2	110.8	134.6	151.1	174.7
100	38.4	58.0	74.7	90.0	103.7	114.6	139.1	156.1	180.5
200	42.4	64.0	82.3	99.2	114.4	126.4	153.2	171.7	198.2
300	44.7	67.4	86.8	104.6	120.6	133.2	161.4	180.8	208.6
500	47.6	71.8	92.4	114.4	128.5	141.9	171.8	192.3	221.7
Wieder -kehrzeit (Jahre)	Regendauer								
	4 hour	6 hour	9 hour	12 hour	15 hour	18 hour	24 hour	48 hour	
2	79.8	93.0	105.9	114.8	123.9	130.7	141.0	153.8	
3	94.6	110.2	125.4	136.1	148.3	157.1	170.8	188.6	
5	111.1	129.4	147.0	159.8	175.6	186.4	204.0	227.3	
10	131.7	153.5	174.3	189.5	209.8	223.3	245.7	276.0	
20	151.6	176.6	200.4	218.1	242.6	258.7	285.7	322.6	
30	163.0	189.9	215.5	234.5	261.5	279.1	308.7	349.5	
50	177.2	206.5	234.2	255.1	285.1	304.6	337.5	383.1	
70	186.6	217.4	246.6	268.5	300.6	321.2	356.4	405.1	
80	190.3	221.7	251.5	273.8	306.7	327.9	363.9	413.8	
100	196.5	228.9	259.6	282.8	317.0	338.9	376.4	428.4	
200	215.6	251.3	284.9	310.4	348.7	373.1	415.0	473.5	
300	226.8	264.3	299.6	326.5	367.2	393.1	437.6	499.8	
500	240.9	280.7	318.2	346.8	390.5	418.2	466.1	533.0	

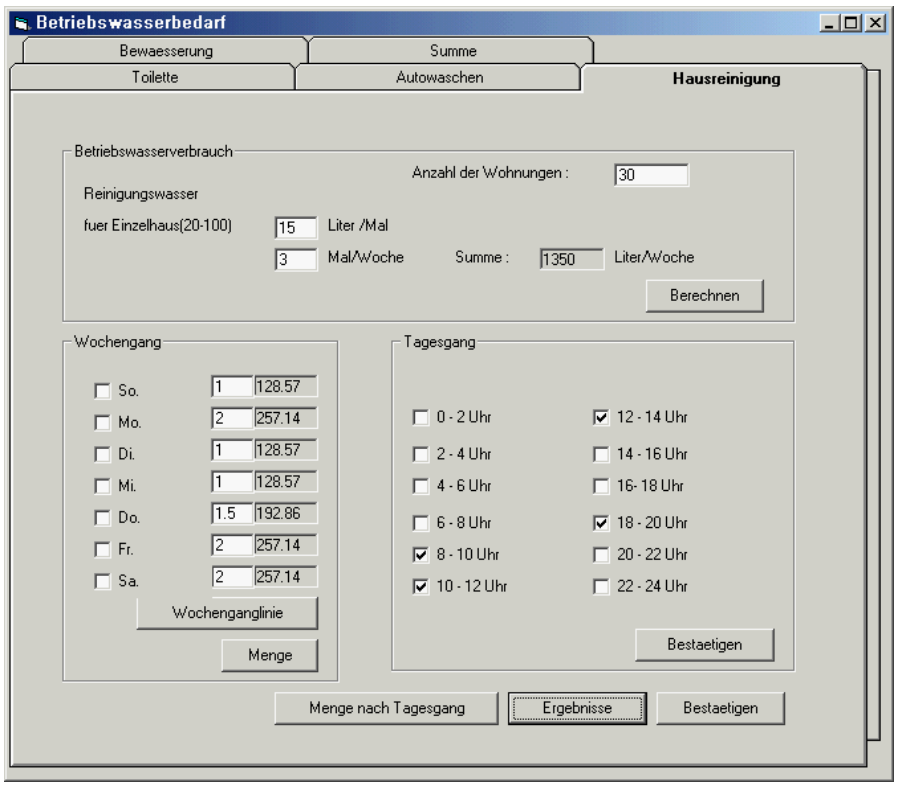
A-2 : Empfohlene Spitzenabflußbeiwerte für unterschiedliche Regenspenden bei einer Regendauer von 15min (r_{15}) in Abhängigkeit von der mittleren Geländeneigung I_G und dem Befestigungsgrad für Fließzeitverfahren (ATV-A 118,1999)

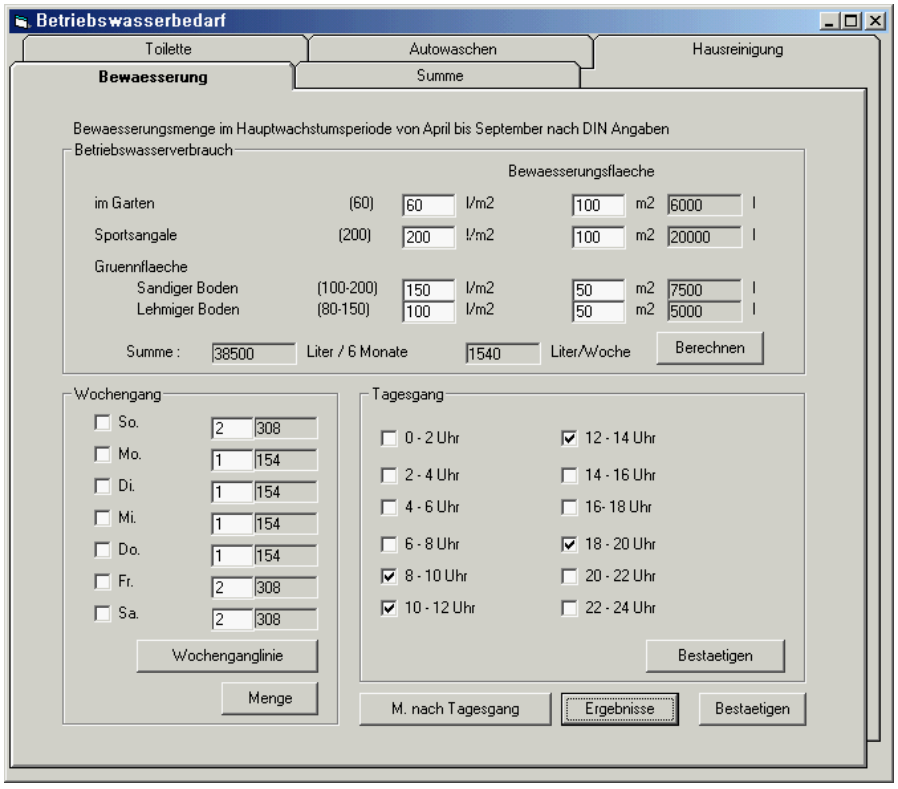
Befestigungs-	Gruppe1				Gruppe2			
grad [%]	I_G < 1%				1 % ≤ I_G ≤ 4 %			
	für r_{15} [l/(s.ha)] von				für r_{15} [l/(s.ha)] von			
	100	130	180	225	100	130	180	225
0	0,00	0,00	0,10	0,31	0,10	0,15	0,30	(0,46)
10	0,09	0,09	0,19	0,38	0,18	0,23	0,37	(0,51)
20	0,18	0,18	0,27	0,44	0,27	0,31	0,43	0,56
30	0,28	0,28	0,36	0,51	0,35	0,39	0,50	0,61
40	0,37	0,37	0,44	0,57	0,44	0,47	0,56	0,66
50	0,46	0,46	0,53	0,64	0,52	0,55	0,63	0,72
60	0,55	0,55	0,61	0,70	0,60	0,63	0,70	0,77
70	0,64	0,64	0,70	0,77	0,68	0,71	0,76	0,82
80	0,74	0,74	0,78	0,83	0,77	0,79	0,83	0,87
90	0,83	0,83	0,87	0,90	0,86	0,87	0,89	0,92
100	0,92	0,92	0,95	0,96	0,94	0,95	0,96	0,97

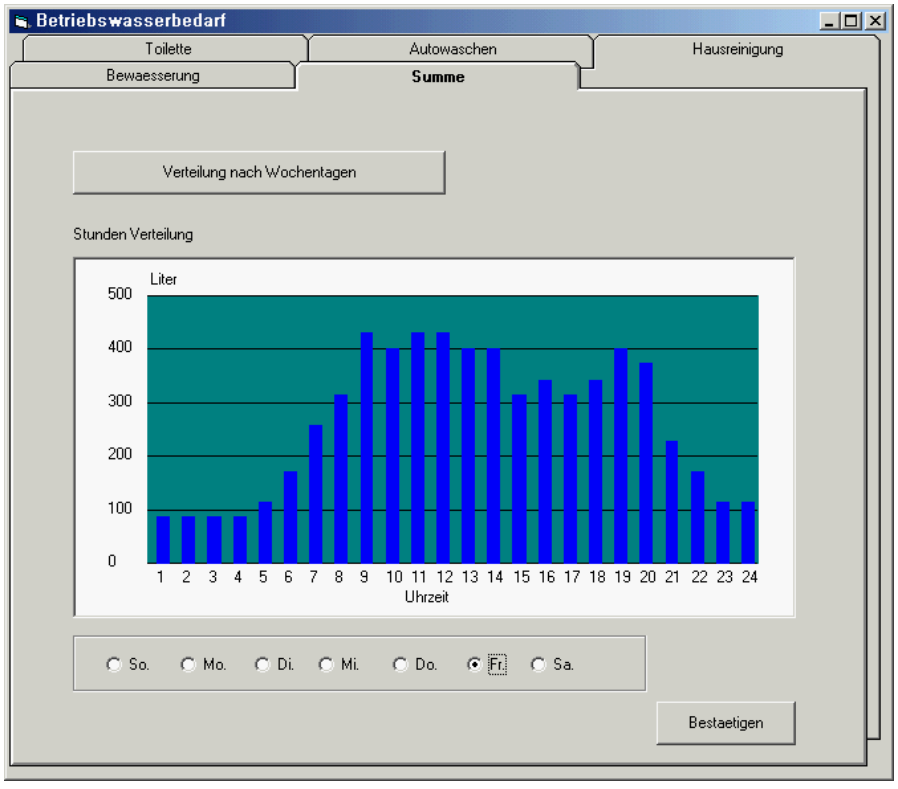
Befestigungs-	Gruppe3				Gruppe4			
grad [%]	4 % ≤ I_G ≤ 10 %				I_G ≥ 1%			
	für r_{15} [l/(s.ha)] von				für r_{15} [l/(s.ha)] von			
	100	130	180	225	100	130	180	225
0	0,15	0,20	(0,45)	(0,60)	0,20	0,30	(0,55)	(0,75)
10	0,23	0,28	0,50	(0,64)	0,28	0,37	(0,59)	(0,77)
20	0,31	0,35	0,55	0,67	0,35	0,43	0,63	0,80
30	0,39	0,42	0,60	0,71	0,42	0,50	0,68	0,82
40	0,47	0,50	0,65	0,75	0,50	0,56	0,72	0,84
50	0,55	0,58	0,71	0,79	0,58	0,63	0,76	0,87
60	0,62	0,65	0,76	0,82	0,65	0,70	0,80	0,89
70	0,70	0,72	0,81	0,86	0,72	0,76	0,84	0,91
80	0,78	0,80	0,86	0,90	0,80	0,83	0,87	0,93
90	0,86	0,88	0,91	0,93	0,88	0,89	0,93	0,96
100	0,94	0,95	0,96	0,97	0,95	0,96	0,97	0,98

A-3 : Simulationsmodul - Betiebswasserbedarf

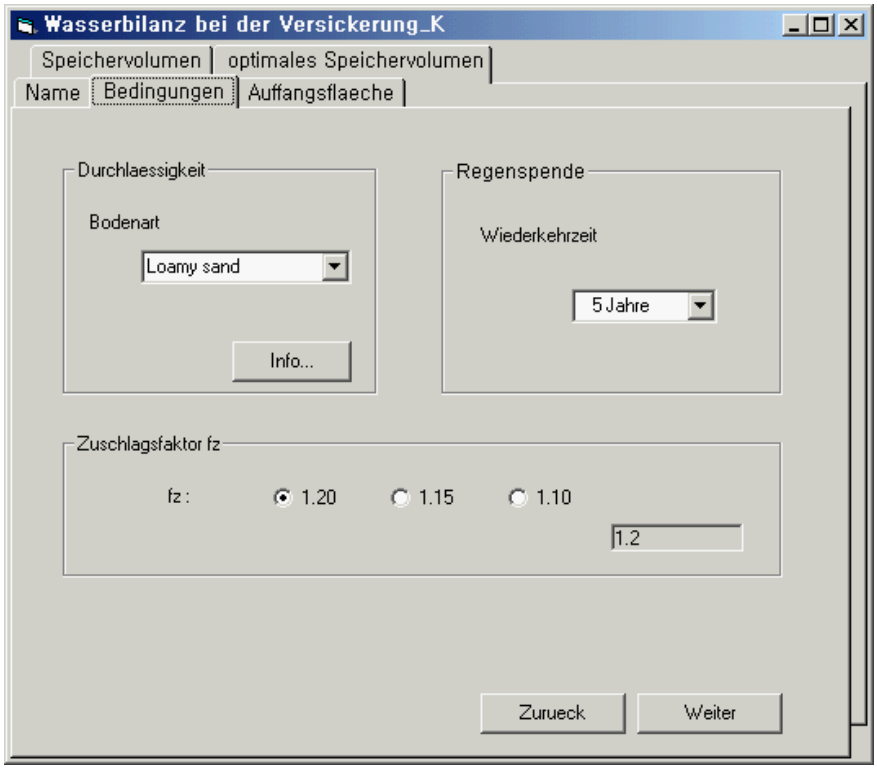


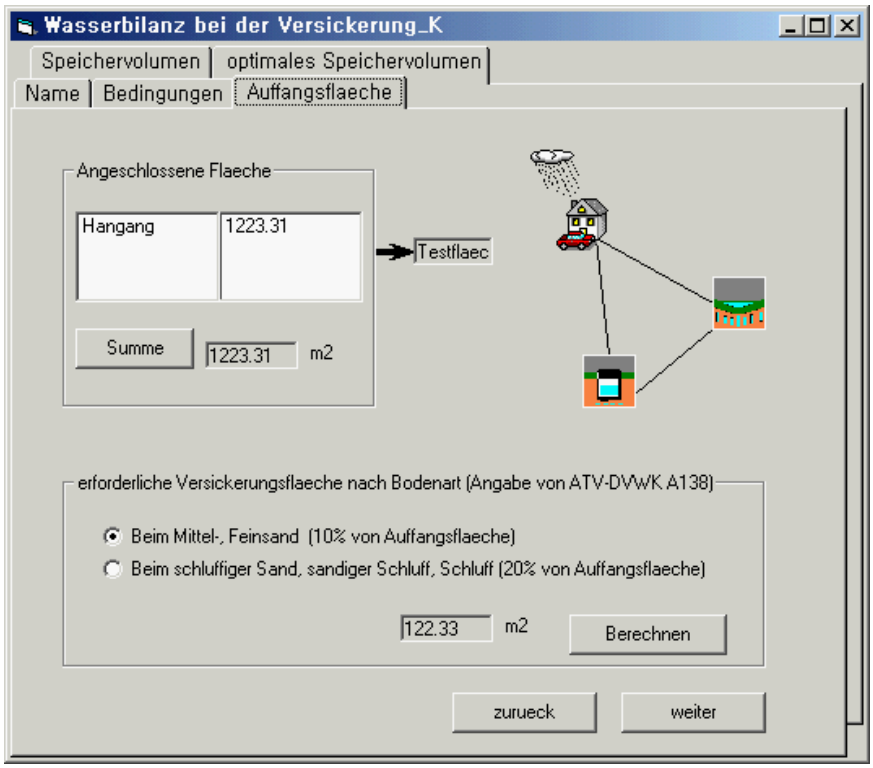


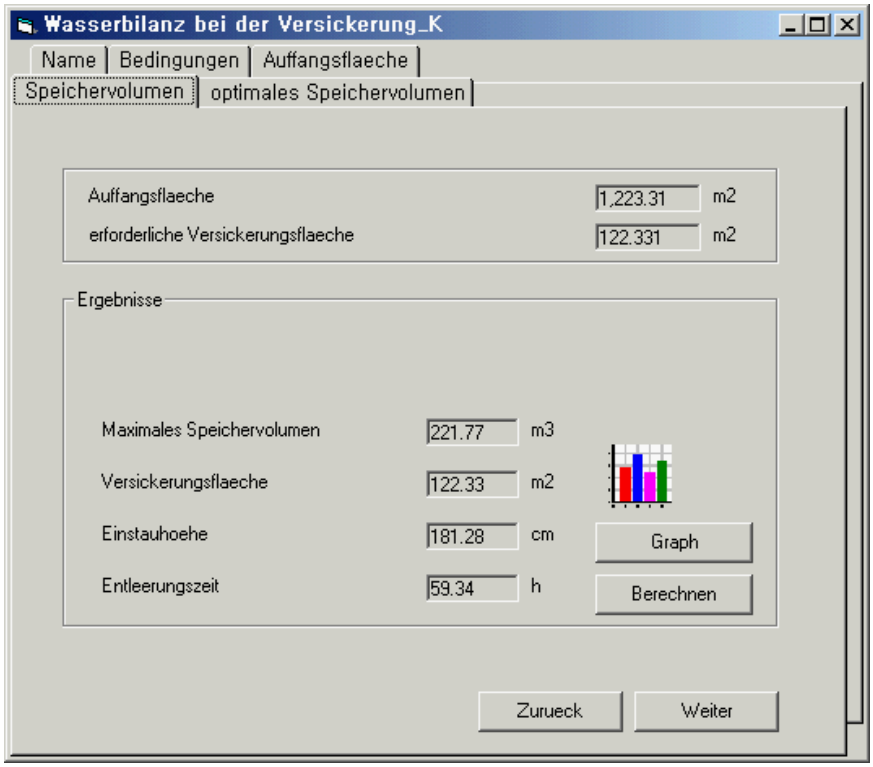

Betriebswasserbedarf
Toilette
Autowaschen
Hausreinigung
Bewaesserung
Summe
Bewaesserungsmenge im Hauptwachstumsperiode von April bis September nach DIN Angaben
Betriebswasserverbrauch
Bewaesserungsflaeche
im Garten (60) 60 l/m2 100 m2 6000 l
Sportsangale (200) 200 l/m2 100 m2 20000 l
Gruennflaeche
Sandiger Boden (100-200) 150 l/m2 50 m2 7500 l
Lehmiger Boden (80-150) 100 l/m2 50 m2 5000 l
Summe : 38500 Liter / 6 Monate 1540 Liter/Woche
Berechnen
Wochengang
So. 2 308
Mo. 1 154
Di. 1 154
Mi. 1 154
Do. 1 154
Fr. 2 308
Sa. 2 308
Wochenganglinie
Menge
Tagesgang
0 - 2 Uhr
2 - 4 Uhr
4 - 6 Uhr
6 - 8 Uhr
8 - 10 Uhr
10 - 12 Uhr
12 - 14 Uhr
14 - 16 Uhr
16- 18 Uhr
18 - 20 Uhr
20 - 22 Uhr
22 - 24 Uhr
Bestaetigen
M. nach Tagesgang
Ergebnisse
Bestaetigen

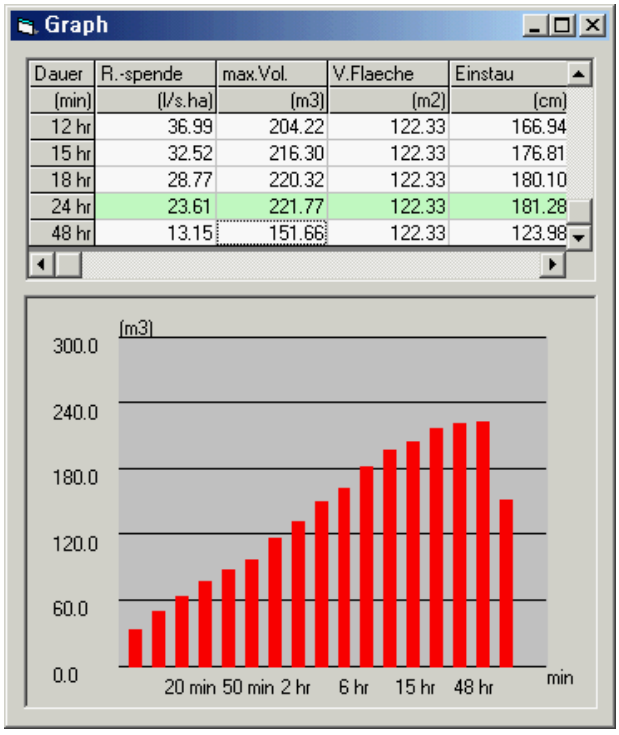

Betriebswasserbedarf
Toilette
Autowaschen
Hausreinigung
Bewaesserung
Summe
Verteilung nach Wochentagen
Stunden Verteilung
Liter
500
400
300
200
100
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Uhrzeit
So. Mo. Di. Mi. Do. Fr. Sa.
Bestaetigen

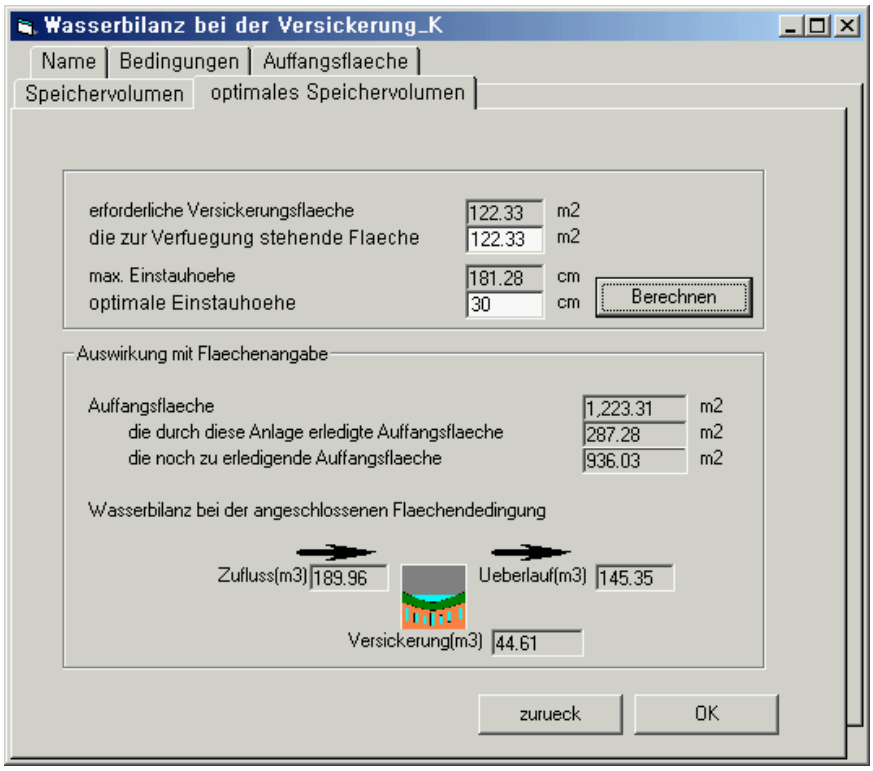
A-4 : Simulationssubroutine - Versickerungsanlage

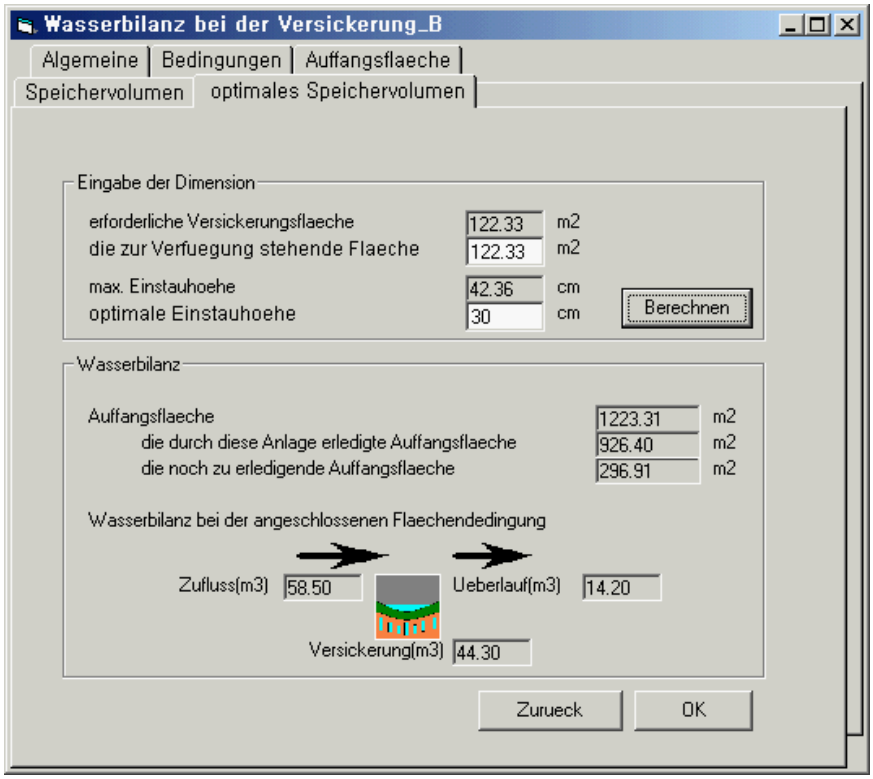




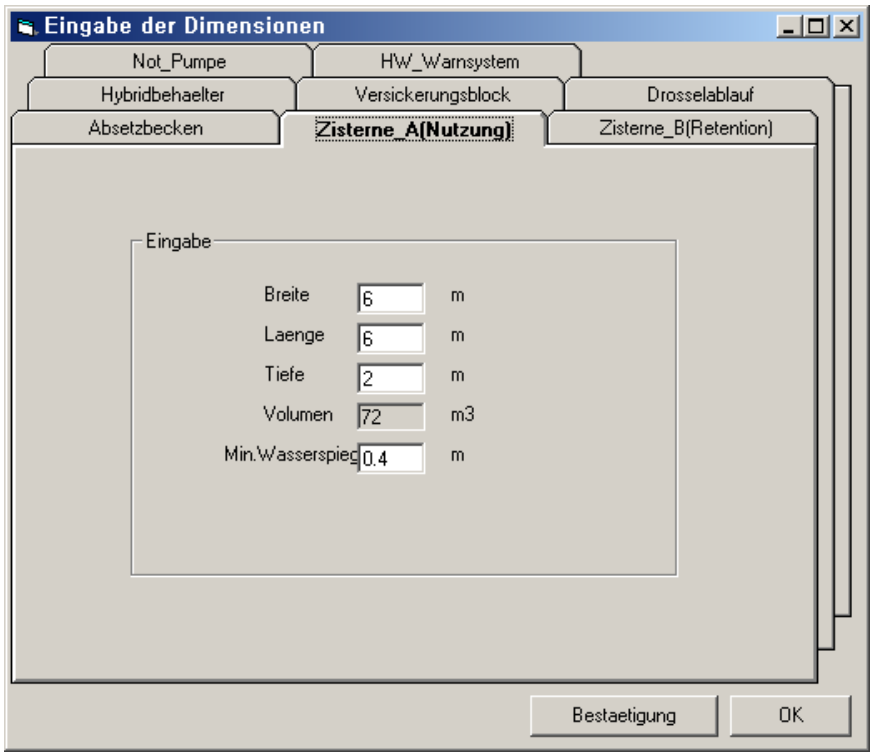

Wasserbilanz bei der Versickerung_K
Name
Bedingungen
Auffangsflaeche
Speichervolumen
optimales Speichervolumen
Auffangsflaeche
1,223.31
m2
erforderliche Versickerungsflaeche
122.331
m2
Ergebnisse
Maximales Speichervolumen
221.77
m3
Versickerungsflaeche
122.33
m2
Einstauhoehe
181.28
cm
Entleerungszeit
59.34
h
Graph
Berechnen
Zurueck
Weiter

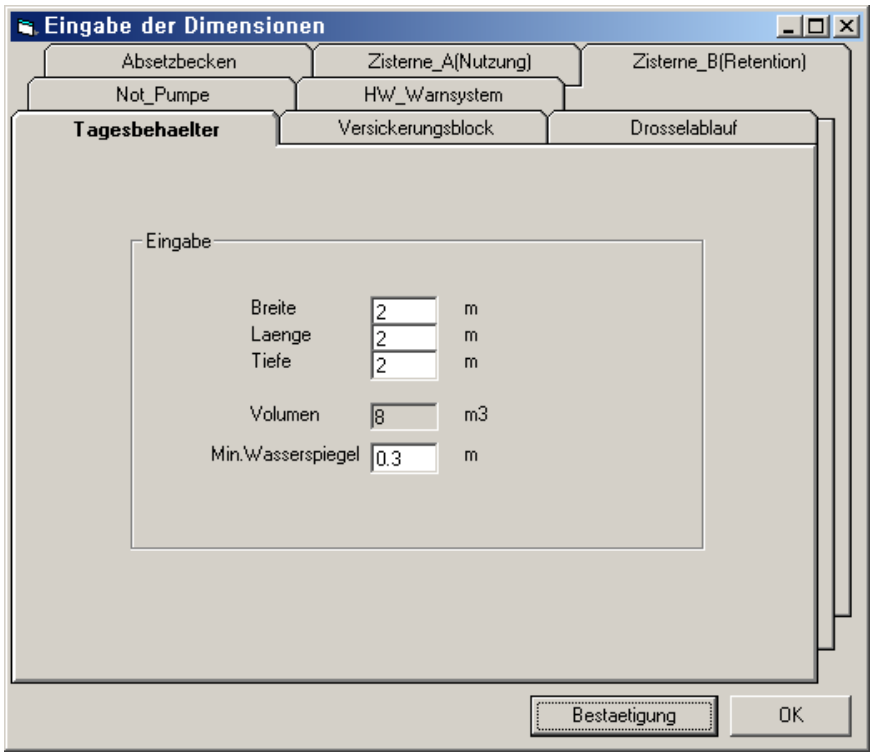

Graph
Dauer (min)
R.-spende (l/s.ha)
max.Vol. (m3)
V.Flaeche (m2)
Einstau (cm)
12 hr 36.99 204.22 122.33 166.94
15 hr 32.52 216.30 122.33 176.81
18 hr 28.77 220.32 122.33 180.10
24 hr 23.61 221.77 122.33 181.28
48 hr 13.15 151.66 122.33 123.98
[m3]
300.0
240.0
180.0
120.0
60.0
0.0
20 min 50 min 2 hr 6 hr 15 hr 48 hr
min

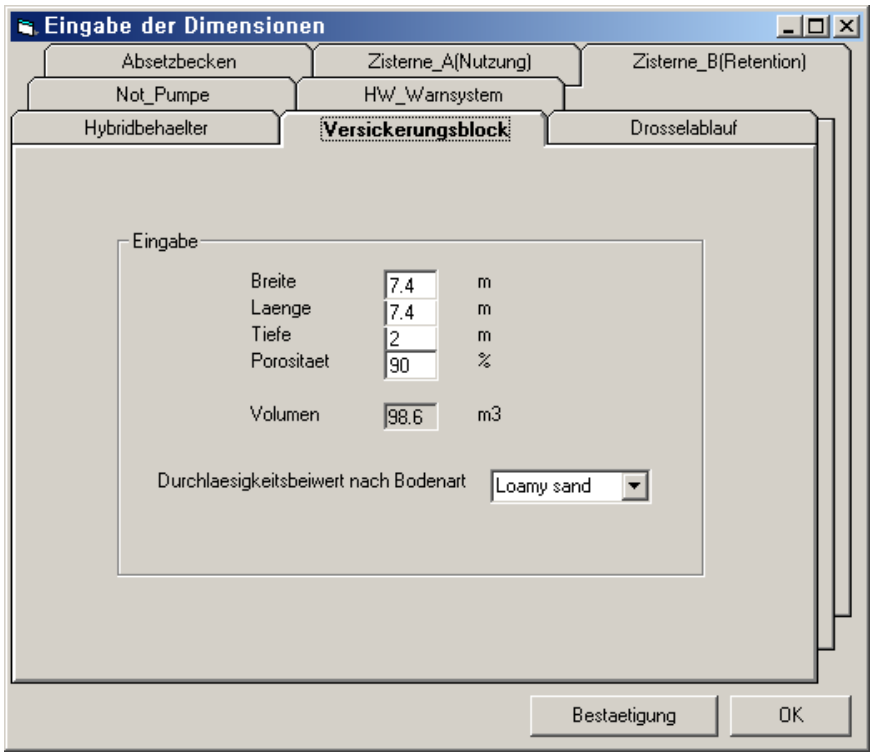

Wasserbilanz bei der Versickerung_K
Name
Bedingungen
Auffangsflaeche
Speichervolumen
optimales Speichervolumen
erforderliche Versickerungsflaeche
122.33
m2
die zur Verfuegung stehende Flaeche
122.33
m2
max. Einstauhoehe
181.28
cm
optimale Einstauhoehe
30
cm
Berechnen
Auswirkung mit Flaechenangabe
Auffangsflaeche
1,223.31
m2
die durch diese Anlage erledigte Auffangsflaeche
287.28
m2
die noch zu erledigende Auffangsflaeche
936.03
m2
Wasserbilanz bei der angeschlossenen Flaechendedingung
Zufluss(m3)
189.96
Ueberlauf(m3)
145.35
Versickerung(m3)
44.61
zurueck
OK

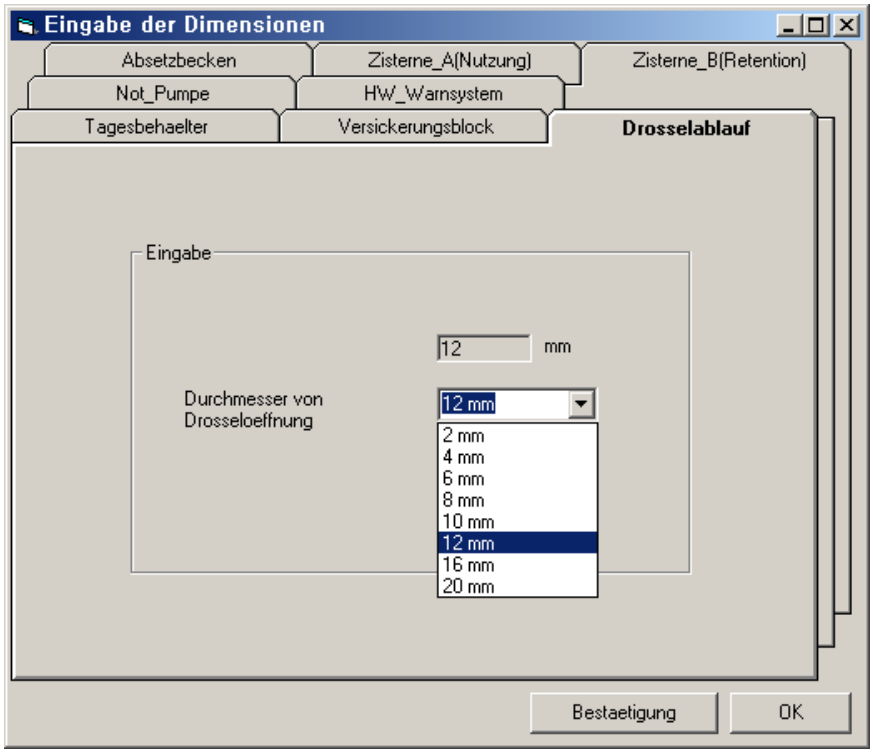

Wasserbilanz bei der Versickerung_B
Algemeine
Bedingungen
Auffangsflaeche
Speichervolumen
optimales Speichervolumen
Eingabe der Dimension
erforderliche Versickerungsflaeche
122.33
m2
die zur Verfuegung stehende Flaeche
122.33
m2
max. Einstauhoehe
42.36
cm
optimale Einstauhoehe
30
cm
Berechnen
Wasserbilanz
Auffangsflaeche
1223.31
m2
die durch diese Anlage erledigte Auffangsflaeche
926.40
m2
die noch zu erledigende Auffangsflaeche
296.91
m2
Wasserbilanz bei der angeschlossenen Flaechendedingung
Zufluss(m3)
58.50
Ueberlauf(m3)
14.20
Versickerung(m3)
44.30
Zurueck
OK

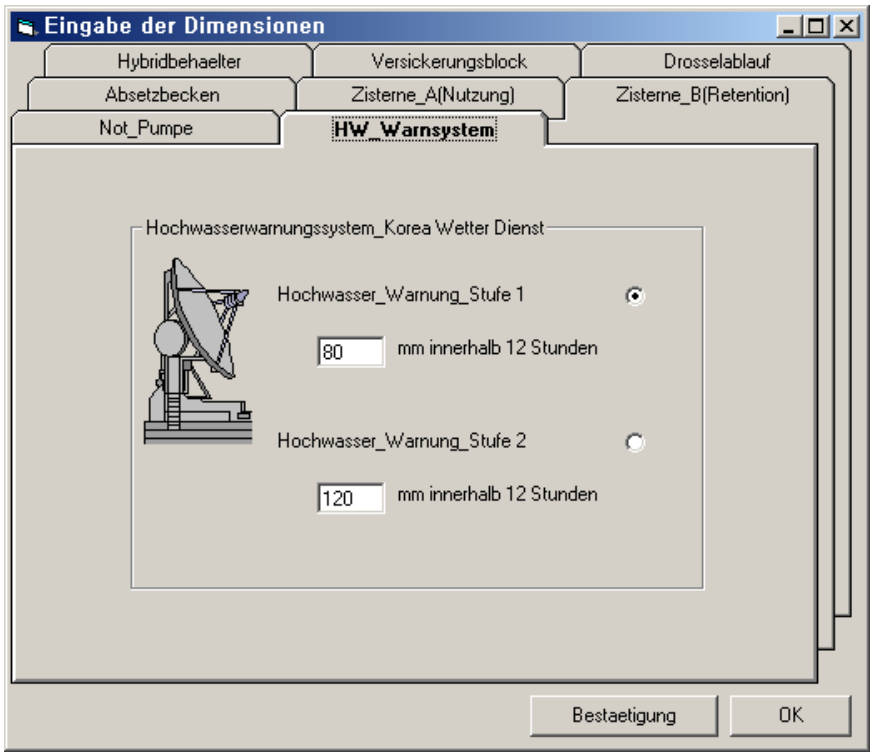
A-5 : Simulationssubroutine – Eingabe der Dimensionen






Eingabe der Dimensionen
Absetzbecken
Zisterne_A(Nutzung)
Zisterne_B(Retention)
Not_Pumpe
HW_Warnsystem
Hybridbehaelter
Versickerungsblock
Drosselablauf
Eingabe
Breite
7.4
m
Laenge
7.4
m
Tiefe
2
m
Porositaet
90
%
Volumen
98.6
m3
Durchlaesigkeitsbeiwert nach Bodenart
Loamy sand
Bestaetigung
OK


Eingabe der Dimensionen
Absetzbecken
Zisterne_A(Nutzung)
Zisterne_B(Retention)
Not_Pumpe
HW_Warnsystem
Tagesbehaelter
Versickerungsblock
Drosselablauf
Eingabe
12
mm
Durchmesser von Drosseloeffnung
12 mm
2 mm
4 mm
6 mm
8 mm
10 mm
12 mm
16 mm
20 mm
Bestaetigung
OK


Eingabe der Dimensionen
Hybridbehaelter
Versickerungsblock
Drosselablauf
Absetzbecken
Zisterne_A(Nutzung)
Zisterne_B(Retention)
Not_Pumpe
HW_Warnsystem
Hochwasserwarnungssystem_Korea Wetter Dienst
Hochwasser_Warnung_Stufe 1
80
mm innerhalb 12 Stunden
Hochwasser_Warnung_Stufe 2
120
mm innerhalb 12 Stunden
Bestaetigung
OK