

FLAMINKO

Flächenabhängige Abminderung der statistischen Regenwerte in KOSTRA

Abschlussbericht

2006

Dr.-Ing. H.-R. Verworn, Dipl.-Ing. S. Schmidtke

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
1 Projektbeschreibung	1
2 Kenntnisstand	3
3 Untersuchte Regionen	9
3.1 Emscher	9
3.2 Wupper.....	10
3.3 Bode	10
4 Datengrundlage und statistische Auswertung.....	12
4.1 Datengrundlage.....	12
4.1.1 Emscher	12
4.1.2 Wupper.....	14
4.1.3 Bode	14
4.2 Statistische Auswertung	16
5 Gebietsniederschläge	19
5.1 Thiessen-Polygon-Verfahren.....	19
5.2 Rasterpunkt-Verfahren	20
5.3 Vorgehen zur Berechnung der Gebietsniederschläge.....	21
6 Abminderungsfaktoren.....	24
6.1 Festlegung der relevanten Bezugsgröße	25
6.2 Gewählte Mittelpunktstationen	26
6.3 Festlegung relevanter Dauerstufen / Gebietsgrößen	28
6.4 Ermittlung der Abminderungsfaktoren	29
6.5 Ergebnisse der Regionen	30
6.5.1 Emscher	30
6.5.2 Wupper.....	31
6.5.3 Bode	33
6.6 Regionsübergreifende Abminderungsfaktoren.....	34
6.7 Ableitung einer allgemein gültigen Abminderungsfunktion.....	35
6.8 Vergleich mit Ergebnissen aus bisherigen Untersuchungen	37
7 Empfehlungen für die praktische Anwendung	39
7.1 Abminderung ohne Berücksichtigung der Dauerstufen.....	39
7.2 Abminderung unter Berücksichtigung der Dauer.....	40
7.3 Anwendungsbeispiel.....	41
8 Literaturverzeichnis.....	43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Abminderung "ß" der Punktniederschlagswerte als Funktion der Einzugsgebietsgröße (Hamburg, Deutschland) (aus MILKE, 2003)	3
Abbildung 2.2:	Abminderungsfaktoren für verschiedene Dauerstufen (Bern, Schweiz) (aus WEINGARTNER und HAUSER, 2002)	4
Abbildung 2.3:	Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit von Fläche (AT [km^2]) und Dauer (D [h]) (Newcastle, England) (aus VALENTINE, 2003)	5
Abbildung 2.4:	Abminderungsfaktoren für verschiedene Dauerstufen aus mehreren Untersuchungen (nach IHP/OHP (1993), DISSE, "MALAYSIA" und "LOS ANGELES") [unten: logarithmische Darstellung der Gebietsgröße]	6
Abbildung 2.5:	Gegenüberstellung der Abminderungsfaktoren aus verschiedenen Quellen	7
Abbildung 4.1:	Einzugsgebiet der Emscher und Lage der verwendeten Messstationen....	13
Abbildung 4.2:	Einzugsgebiet der Wupper und Lage der verwendeten Messstationen	14
Abbildung 4.3:	Einzugsgebiet der Bode und Lage der verwendeten Messstationen	15
Abbildung 5.1:	Schematische Darstellung des Thiessen-Polygon-Verfahrens	19
Abbildung 5.2:	Schematische Darstellung des Rasterpunkt-Verfahrens	20
Abbildung 5.3:	Gewählte Gebietsgrößen.....	22
Abbildung 6.1:	Festlegung der relevanten Bezugsgröße (beispielhaft).....	26
Abbildung 6.2:	Gebiete in der Emscher-Region	27
Abbildung 6.3:	Gebiete in der Wupper-Region.....	27
Abbildung 6.4:	Gebiete im Bode-Einzugsgebiet.....	28
Abbildung 6.5:	Fließzeiten in Abhängigkeit von Gebietsgröße und mittlerer Fließgeschwindigkeit	29
Abbildung 6.6:	Abminderungsfaktoren für die Mittelpunktstation 2368	31
Abbildung 6.7:	Mittlere Abminderungsfaktoren für die Emscher-Region	31
Abbildung 6.8:	Abminderungsfaktoren für die Mittelpunktstation SWES	32
Abbildung 6.9:	Mittlere Abminderungsfaktoren für die Wupper-Region	32
Abbildung 6.10:	Abminderungsfaktoren für die Mittelpunktstation 4333	33
Abbildung 6.11:	Mittlere Abminderungsfaktoren für das Bode-Gebiet	33
Abbildung 6.12:	Regionsübergreifende mittlere Abminderungsfaktoren für Tageswerte	34
Abbildung 6.13:	Regionsübergreifende mittlere Abminderungsfaktoren für alle Dauerstufen	34
Abbildung 6.14:	Mittlere Abminderungsfaktoren für ausgewählte Bereiche von Dauer und Gebietsgröße.....	35
Abbildung 6.15:	Mittlere Abminderungsfaktoren aus Gebietsgrößen-relevanten Dauerstufen und zugehörige Wertebereiche	36
Abbildung 6.16:	Nomogramm zur Ermittlung des Abminderungsfaktors aus Gebietsgröße und Dauerstufe (mit Ablesebeispiel).....	37
Abbildung 6.17:	Abminderungsfaktoren h_G/h_N [-]: Bereiche der Literaturwerte (Linien) und FLAMINKO-Werte (Symbole) aus Abbildung 7.2	37
Abbildung 7.1:	Anwendungsbereich der einfachen Abminderungsbeziehung	39
Abbildung 7.2:	Nomogramm zur Ermittlung des Abminderungsfaktors aus Gebietsgröße und Dauerstufe	40
Abbildung 7.3:	Ermittlung des Abminderungsfaktors in Abhängigkeit der Dauerstufe mit der Flächengröße als Kurvenparameter	41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Abminderungsfaktoren aus verschiedenen Quellen.....	8
Tabelle 2.2:	Unterschiede zwischen bisherigen Untersuchungen und dem FLAMINKO-Konzept	8
Tabelle 3.1:	Charakteristika der untersuchten Regionen	11
Tabelle 4.1:	Verwendete Messstationen im Emscher/Lippegebiet.....	13
Tabelle 4.2:	Verwendete Messstationen im Wuppereinzugsgebiet.....	14
Tabelle 4.3:	Verwendete Messstationen im Bodeeinzugsgebiet.....	15
Tabelle 4.4:	Datengrundlage in den untersuchten Regionen	16
Tabelle 4.5:	Dauerstufen zur Erstellung der jährlichen und partiellen Serien	17
Tabelle 4.6:	Dauerstufen und Wiederkehrzeiten für die Niederschlagsstatistik	18
Tabelle 5.1:	Unterschiede zwischen den beiden gewählten Verfahren zur Ermittlung des Gebietsniederschlags	21
Tabelle 5.2:	Gewählte Gebietsgrößen.....	22
Tabelle 6.1:	Relevante Dauerstufen für die Gebietsgrößen	35
Tabelle 7.1:	Mittlere KOSTRA-Werte für ein Beispielgebiet.....	42
Tabelle 7.2:	Punkt- und Gebietsniederschläge T=10a für das in Tabelle 7.1 angegebene Gebiet.....	42

1 Projektbeschreibung

Die flächendeckend für Deutschland vorliegenden statistischen Regenwerte (KOSTRA) gelten für Punktniederschläge. In den Erläuterungen und Kommentaren zu KOSTRA ist angegeben, dass diese Punktniederschläge auch für Einzugsgebiete bis 25 km² Größe als Gebietsniederschlagswerte verwendet werden sollten bzw. können. Für größere Gebiete wird keine definitive Aussage getroffen, in welcher Weise mit den KOSTRA-Werten zu verfahren ist.

Aus zahlreichen Untersuchungen und Veröffentlichungen (SCHUMANN, 1983; DVWK, 1984; VERWORN / FLENDER, 1986; SMITH et al., 1994; CLARK COUNTY REGIONAL FLOOD CONTROL DISTRICT, 1999; INSTITUTE OF HYDROLOGY, 1999) ist bekannt, dass der Gebietsniederschlag mit zunehmender Fläche kleiner wird. Dieses gilt generell allerdings nur, wenn der maximale Punktniederschlag innerhalb des Gebietes als Referenzgröße verwendet wird und nicht der eines beliebigen Ortspunktes, an dem sich gerade eine Messstelle befindet. Bei großer Messstellendichte bzw. bei Ergänzung der Bodenmesserinformationen durch Radardaten lässt sich der maximale Niederschlag gut bestimmen, so dass durch Betrachtung immer größer werdender Flächen um dieses Zentrum herum sich die entsprechenden Gebietsniederschläge und daraus die Abminderungen gegenüber dem Punktwert ermitteln lassen. Diese Abminderungen gelten jedoch jeweils nur für das betrachtete Ereignis und werden bei kleinzelligen konvektiven Niederschlägen wesentlich größer sein als bei flächenhaften advektiven Regen.

Für die Übertragung auf statistische Werte sind derartige Ergebnisse daher ungeeignet. Für die statistischen Niederschlagswerte gilt zwar auch generell, dass der Gebietsniederschlag gegenüber einem Punktniederschlag gleicher Dauer und Häufigkeit kleiner ist. Bei der Ermittlung der Abminderungen muss aber das gesamte Regengeschehen berücksichtigt werden, also sowohl die Ereignisse mit ungleichmäßiger Überregnung, als auch die mit gleichmäßiger. Folglich müssen die Zeitreihen der Gebietsniederschläge für verschiedene Gebietsgrößen genauso statistisch ausgewertet werden wie die Punktniederschläge (ATV, 1985). Die Größe der Abminderung – das Verhältnis von statistischem Gebietsniederschlag zu statistischem Punktniederschlag – hängt dann im Wesentlichen von der betrachteten Gebietsgröße und der Dauerstufe ab. Die hierzu vorhandenen Aussagen schwanken allerdings in einem weiten Bereich, da sie unter verschiedenen Annahmen und unterschiedlichen Zielsetzungen ermittelt wurden, und können deshalb nicht unbesehen übernommen werden.

In der Praxis ist es erforderlich, statistische Regenwerte auch für größere Gebiete als 25 km² festzulegen, so dass sich aus der Randbedingung, dass die KOSTRA-Werte als Grundlage zu verwenden sind, der Bedarf nach einheitlich festgelegten, akzeptierten Werten von Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit von der Fläche und der Dauerstufe ergibt. Als Alternative zu festen Faktoren kommt auch ein Verfahren zur Festlegung in Frage, welches unter Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren (z.B. regional, regenhöhenabhängig) zu den gewünschten Werten führt.

Mit dem Projekt FLAMINKO sollen diese Abminderungsfaktoren bzw. das Verfahren zu ihrer Gewinnung für den Bereich der Flächengrößen zwischen 25 km² und 1000 km² ermittelt und festgelegt werden. Weiterhin wird festgestellt, welche Unterschiede zwischen Punkt- und Gebietsniederschlägen für Flächen unterhalb von 25 km² bestehen und ob diese Grenze ggf. herabgesetzt werden muss.

Das Projekt wurde in enger Kooperation von Deutschem Wetterdienst (DWD) und dem Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover (IfW) durchgeführt, um sowohl die meteorologischen Randbedingungen als auch die wasserwirtschaftlichen und hydrologischen Fragestellungen und Zielsetzungen gleichgewichtig zu berücksichtigen.

Die fachliche Begleitung des Projektes erfolgte durch die DWA-Arbeitsgruppe HW-1.1 „Niederschlag“.

2 Kenntnisstand

Zur flächenabhängigen Abminderung von Punktwerten des Niederschlags gibt es zahlreiche Untersuchungen und Veröffentlichungen, die allerdings bezüglich der Daten, der Grundsätze und der Methodik oft nicht ohne weiteres zu vergleichen sind. Aus der Vielzahl der Veröffentlichungen wurden einige wenige herausgegriffen, die einerseits als relevant für das Projekt FLAMINKO angesehen wurden, andererseits einen guten Querschnitt über die vorhandenen Angaben zur Flächenabminderung darstellen.

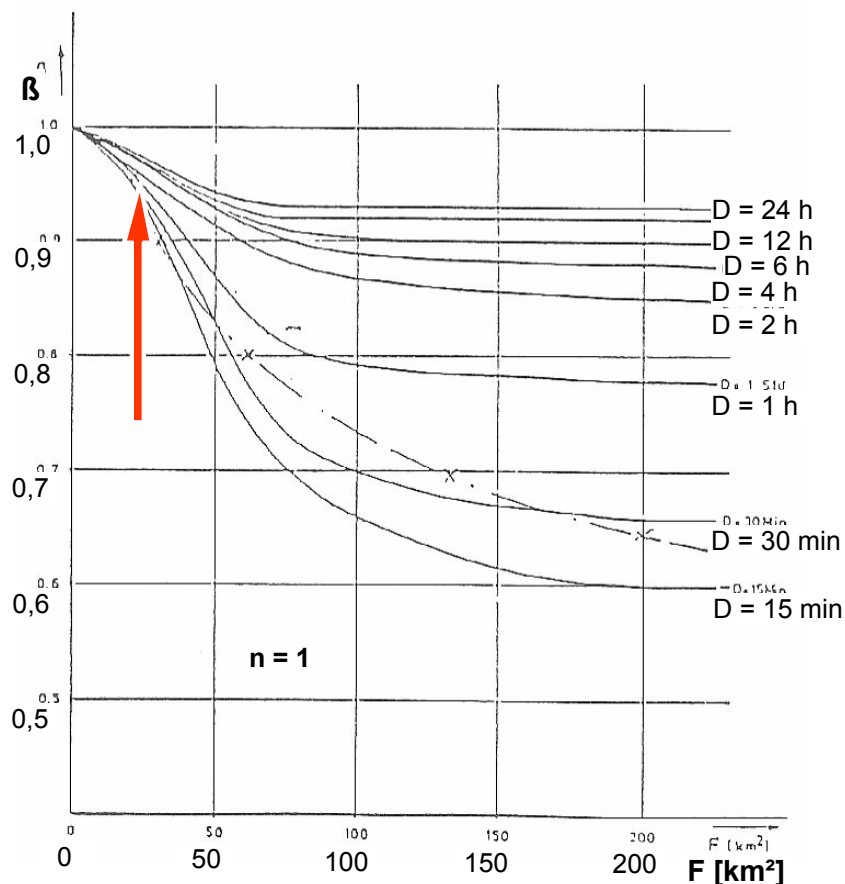


Abbildung 2.1: Abminderung " β " der Punktniederschlagswerte als Funktion der Einzugsgebietsgröße (Hamburg, Deutschland) (aus MILKE, 2003)

Abbildung 2.1 ist einem Vortrag von MILKE (2003) entnommen. Als Quelle wird ein Vorlesungsskript von SCHILLING und GROTTKER (1989) genannt. Im Rahmen einer Untersuchung in Hamburg wurden für die dortige Region gültige Abminderungsfaktoren ermittelt. In Abbildung 2.1 sind die Abminderungskurven für Einzugsgebietsgrößen bis 225 km^2 dargestellt. Für eine Wiederkehrzeit von einem Jahr wurden folgende Dauerstufen ausgewertet: 15 min / 30 min / 1 h / 2 h / 4 h / 6 h / 12 h / 24 h.

Die daraus resultierende Abminderung " β " liegt je nach Gebietsgröße und Dauerstufe zwischen 0,95 und 0,60. Auffallend ist hierbei, dass die Kurven der größeren Dauerstufen ($D = 6 / 12 / 24 \text{ h}$) ab einer Gebietsgröße von 100 km^2 waagrecht verlaufen, so dass demnach für diese Dauerstufen ab 100 km^2 ein konstanter Abminderungsfaktor gültig wäre. Dieser liegt, je

nach Dauerstufe, zwischen 0,93 und 0,90. Zusammenfassend schreibt MILKE (2003), dass die Abminderung umso größer ist, je größer das Einzugsgebiet, je kürzer die Regendauer und je seltener das Ereignis ist.

Eine Studie von WEINGARTNER und HAUSER (2002), die im Hydrologischen Atlas der Schweiz (Grebner et al., 1999) verankert ist, bezieht sich auf Gebietsgrößen von bis zu 5000 km². Dementsprechend werden in dieser Untersuchung größere Dauerstufen (ab 3 h) berücksichtigt. Die zugehörigen Abminderungskurven sind in Abbildung 2.2 dargestellt.

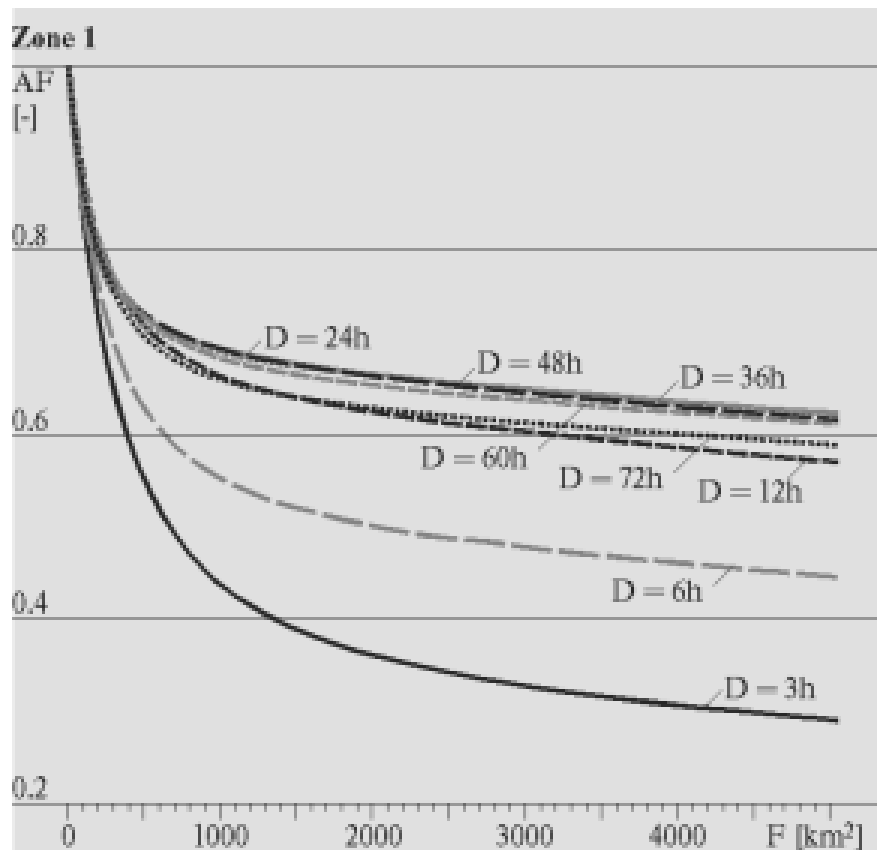


Abbildung 2.2: Abminderungsfaktoren für verschiedene Dauerstufen (Bern, Schweiz)
(aus WEINGARTNER und HAUSER, 2002)

Für die größeren Gebiete ergeben sich hier Abminderungsfaktoren von bis zu 0,3 ($D = 3$ h, $A = 5000$ km²).

Die Abbildung 2.3, die aus einer Untersuchung aus England stammt (VALENTINE, 2003), fällt durch ihre gänzlich andere Darstellungsart auf. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Abbildungen sind hier – im doppeltlogarithmischen Maßstab – die Dauerstufen auf der Abszisse und die Gebietsgrößen auf der Ordinate aufgetragen.

Untersucht wurden Gebietsgrößen bis 100 km² und Dauerstufen bis 48 Stunden.

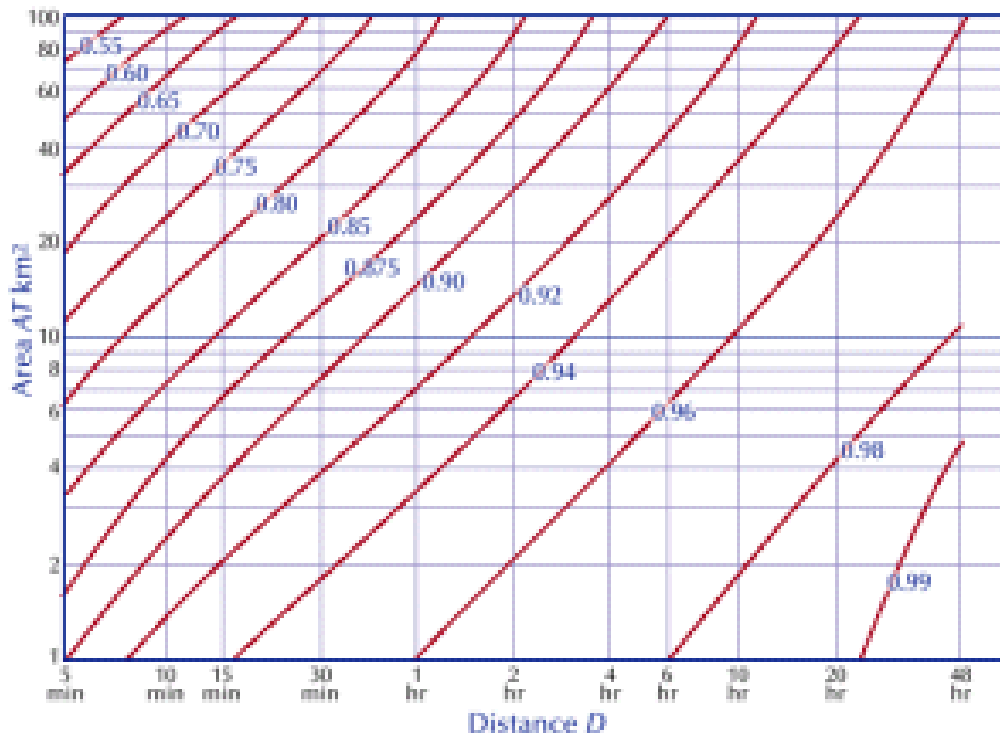


Abbildung 2.3: Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit von Fläche (AT [km^2]) und Dauer (D [h]) (Newcastle, England) (aus VALENTINE, 2003)

In Abbildung 2.4 werden mehrere Untersuchungen gegenübergestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde in der – sonst identischen – unteren Abbildung ein logarithmischer Maßstab für die Darstellung der Gebietsgrößen gewählt.

Die Abminderungskurven für gleiche Dauerstufen aus den einzelnen Untersuchungen sind jeweils mit derselben Farbe und Markierung dargestellt.

Zum einen handelt es sich um eine Untersuchung vom NATIONAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL (1975), deren Ergebnis (in Tabellenform) ebenfalls vom DEUTSCHEN IHP/OHP-NATIONALKOMITEE (1993) veröffentlicht wurde. Die aus dieser Studie resultierenden Abminderungsfaktoren werden – ab einer Einzugsgebietsgröße von 25 km^2 – vom DWD zur Verwendung empfohlen (MALITZ, 2004). In verschiedenen Regionen Englands wurden unterschiedlich große Gebiete und jeweils einige Dauerstufen untersucht. Aufgrund der Feststellung, dass die Änderung der Werte in Bezug auf die Wiederkehrzeit vernachlässigbar gering ist, wird die Untersuchung auf eine Wiederkehrzeit von 2 bis 3 Jahren beschränkt. Aus den Einzel-Ergebnissen werden dann Abminderungsfaktoren für Gebietsgrößen von 1 km^2 bis 30.000 km^2 und Dauerstufen von 1 Minute bis zu 25 Tagen ermittelt. In Abbildung 2.4 sind diese für die Dauerstufen 30 min, 60 min, 3 h, 6 h und 24 h dargestellt.

Zu den Kurven von DISSE heißt es in seinem Vorlesungsskript, dass die Beziehung zwischen Gebietsgröße und Abminderung des Gebietsniederschlags nicht eindeutig ist, sondern je nach Gebietsform und klimatischen und orographischen Verhältnissen in einem größeren Bereich schwankt. Allerdings gilt auch für diesen Bereich die Tendenz, dass mit zunehmender Gebietsgröße die erforderliche Abminderung von Punkt- auf Gebietsniederschlag zunimmt. Die Quelle der in seinem Skript verwendeten Grafik ist leider nicht angegeben. In Abbildung 2.4 sind die Abminderungskurven für die Dauerstufen 3 h und 24 h für Gebiets-

größen bis 500 km² dargestellt. In der unteren Grafik ist deutlich zu erkennen, dass diese beiden Kurven wesentlich steiler abfallen als die der anderen Untersuchungen.

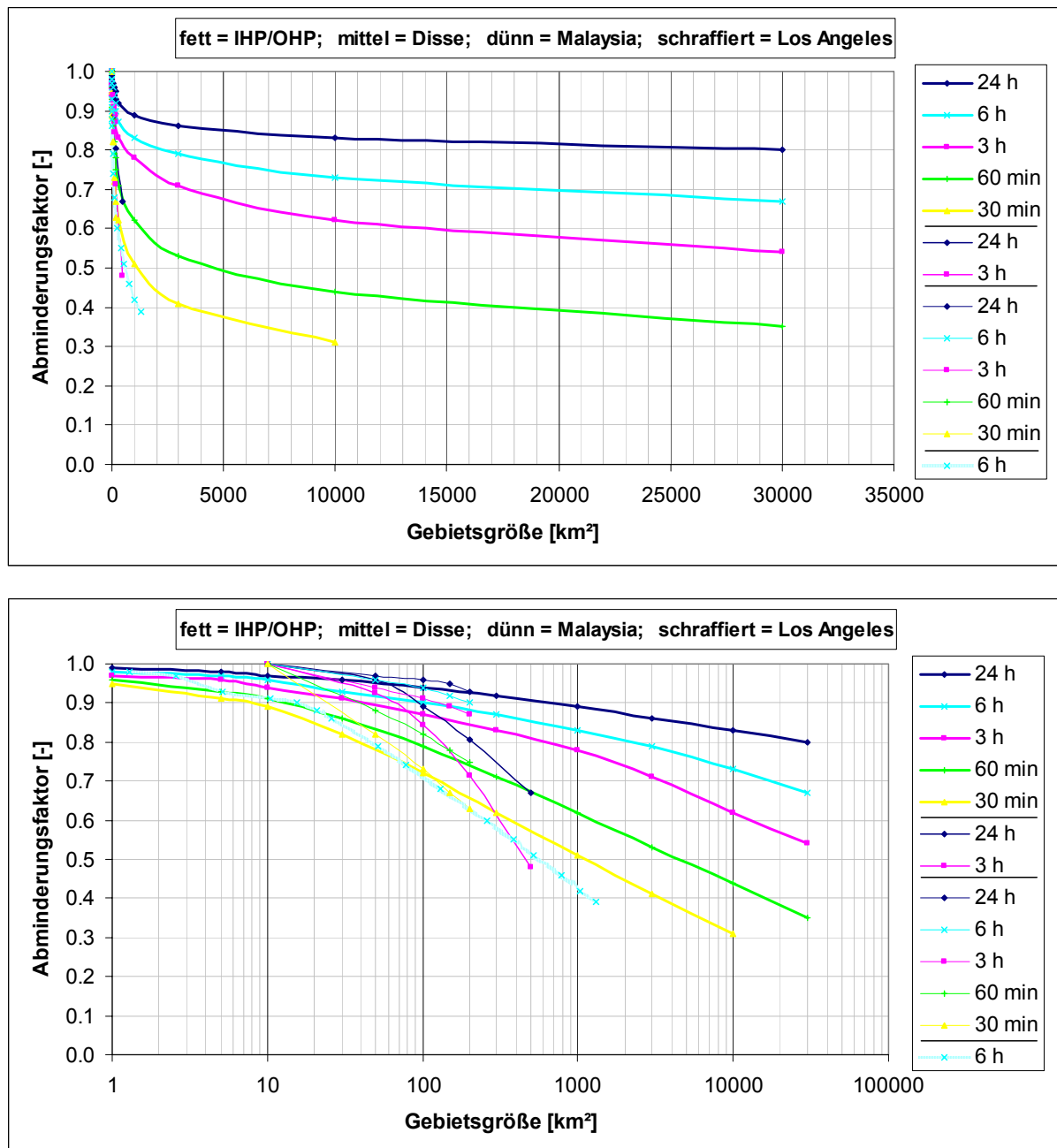


Abbildung 2.4: Abminderungsfaktoren für verschiedene Dauerstufen aus mehreren Untersuchungen (nach IHP/OHP (1993), DISSE, "MALAYSIA" und "LOS ANGELES")
 [unten: logarithmische Darstellung der Gebietsgröße]

Eine Studie in MALAYSIA ergab die in Abbildung 2.4 dünn dargestellten Abminderungskurven. Hier wurden Gebietsgrößen bis 200 km² untersucht. Die Ergebnisse ähneln denen der zuerst vorgestellten Untersuchung vom NATIONAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL (1975), wobei insgesamt leicht geringere Abminderungen zu veranschlagen sind. Des Weiteren werden in der Malaysischen Studie keine Abminderungsfaktoren für Gebiete verwendet, die kleiner als

10 km² groß sind, was für den Großteil der städtischen Entwässerungsgebiete in Malaysia zutrifft.

Die letzte in Abbildung 2.4 dargestellte Abminderungskurve (Dauerstufe 6 h) stammt aus den USA (Los Angeles). Der Verlauf ist um ein Vielfaches steiler als der der anderen Kurven, so dass die Abminderungen wesentlich größer sind. Die Abminderungsfaktoren beziehen sich auf Gebietsgrößen bis 1.295 km² (500 square miles), wobei der Hinweis gegeben wird, dass man sich an die lokale Verwaltung und / oder den CLARK COUNTY REGIONAL FLOOD CONTROL DISTRICT (CCRFCD) wenden sollte, bevor man die Abminderungsfaktoren für Gebiete größer als 518 km² (200 square miles) anwendet.

Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen sind nur schwer miteinander zu vergleichen, da jeweils unterschiedliche Gebietsgrößen, Dauerstufen und Wiederkehrzeiten verwendet wurden. Außerdem ist bei allen Abminderungskurven nicht klar zu ersehen, für welche Kombinationen von Dauerstufe und Flächengröße tatsächlich Untersuchungs- oder Berechnungsergebnisse vorlagen, und für welchen Bereich der Darstellung lediglich interpoliert oder extrapoliert wurde. Weiterhin ist anzunehmen, dass besonders bei den kleinen Flächengrößen meist keine ausreichenden Datenreihen zur Verfügung standen, da detaillierte Untersuchungen hier nur mit sehr dichten Messnetzen durchgeführt werden können, die zudem noch über längere synchrone Zeitreihen verfügen müssen.

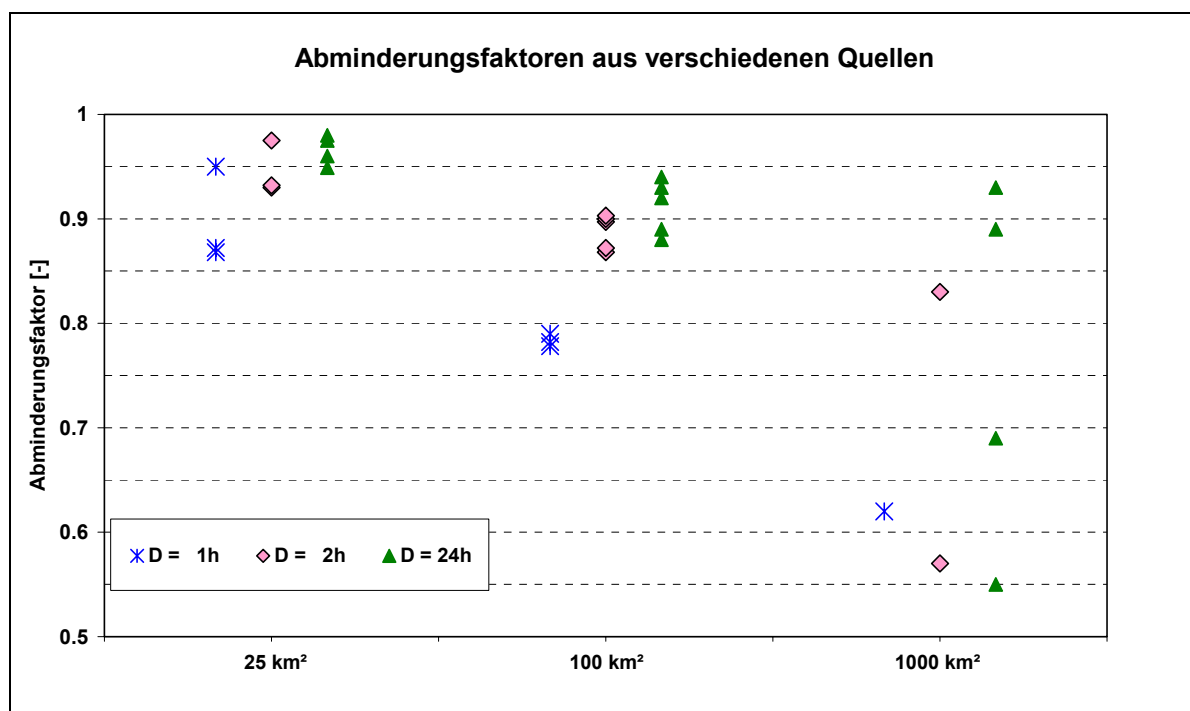


Abbildung 2.5: Gegenüberstellung der Abminderungsfaktoren aus verschiedenen Quellen

Trotz all dieser Unwägbarkeiten wurde versucht, den Erkenntnisstand der Untersuchungen zusammenzufassen, indem aus allen Darstellungen und Tabellen die Abminderungsfaktoren für drei Dauerstufen ($D = 1\text{ h}$, 6 h und 24 h) und drei Gebietsgrößen ($A = 25\text{ km}^2$, 100 km^2 und 1000 km^2) herausgezogen und gemeinsam dargestellt wurden (Abbildung 2.5). Angaben

für Gebietsgrößen über 1000 km² wurden nicht berücksichtigt, weil diese über der für FLAMINKO festgelegten Obergrenze von 1000 km² liegen. Außerdem wurden die außer-europäischen Ergebnisse ausgelassen.

Aus der Abbildung 2.5 wird deutlich, dass die Ergebnisse für A = 100 km² am dichtesten zusammen liegen und für 1000 km² am weitesten streuen. Verwendbar für die weiteren Untersuchungen erscheinen deshalb nur die Angaben für 25 und 100 km². Diese sind in Tabelle 2.1 zusammengestellt, wobei für die weiteren Untersuchungen vor allem die Mittelwerte verwendet werden.

Tabelle 2.1: Abminderungsfaktoren aus verschiedenen Quellen

Gebietsgröße	Dauerstufe	Untere Grenze	Mittelwert	Obere Grenze
25 km ²	1 h	0,87	0,895	0,95
	6 h	0,93	0,95	0,975
	24 h	0,95	0,965	0,98
100 km ²	1 h	0,78	0,78	0,79
	6 h	0,87	0,89	0,90
	24 h	0,88	0,91	0,94

Tabelle 2.2 gibt einen Überblick über die wesentlichen Unterschiede in den bisher durchgeführten Studien zur Ermittlung von Abminderungsfaktoren für Gebietsniederschläge im Vergleich zu dem mit dem Projekt FLAMINKO verfolgten Konzept.

Tabelle 2.2: Unterschiede zwischen bisherigen Untersuchungen und dem FLAMINKO-Konzept

Bisherige Untersuchungen	FLAMINKO
Datengrundlage (Anzahl der Stationen, Länge der Zeitreihen) relativ gering	relativ große Datenbasis
Untersuchungen beschränkt auf einzelne Dauerstufen	Untersuchung sämtlicher relevanter Dauerstufen (KOSTRA-Stützpunkte plus D = 4 h) → Ergebnisse quantitativ genauer
Untersuchungen beschränkt auf einzelne Gebietsgrößen	Untersuchung abgestufter Gebietsgrößen bis 1000 km ²
regionspezifische Auswertung → regional beschränkte Anwendbarkeit	Untersuchung von unterschiedlichen Regionen → Allgemeingültigkeit

3 Untersuchte Regionen

Um eine allgemeingültige Aussage bezüglich der vorzunehmenden Abminderungen treffen zu können, werden Untersuchungen in verschiedenen Regionen durchgeführt. Die ausgewählten Regionen liegen in oro-hydrographisch unterschiedlich geprägten Landschaftsräumen. Bezeichnet werden diese im Rahmen dieses Projektes nach den Fließgewässern, in deren Einzugsgebieten sie liegen: Emscher, Wupper und Bode. Nachfolgend werden die Charakteristika dieser Regionen herausgestellt. Tabelle 3.1 (Seite 11) gibt einen Überblick über die wichtigsten Parameter.

3.1 Emscher

Die Emscher ist ein rechtsseitiger Nebenfluss des Rheins. Sie entspringt südöstlich von Dortmund in Holzwickede und mündet nach rund 85 km Fließweg bei Dinslaken in den Rhein. Die Emscher entwässert nördliche Randbereiche des Bergischen Landes und des Sauerlandes sowie Teile des rechtsniederrheinischen Tieflands. Charakteristisch für das Gewässersystem sind ein schwaches Gefälle und eine geringe Wasserführung (EG/LV, 2005).

Die Flächengröße des Einzugsgebietes beträgt rund 860 km² (WRRL-EMSCHER, 2004). Es wird im Norden und Osten vom Einzugsgebiet der Lippe, im Süden von dem der Ruhr begrenzt. Die westliche Grenze bildet der Rhein beziehungsweise sein direktes Zuflussgebiet.

Das Einzugsgebiet lässt sich nach seiner Höhenlage grob in folgende fünf Bereiche untergliedern: Im Süden befindet sich der Übergangsbereich zur Mittelgebirgsregion mit Höhen größer 150 m ü. NN, der übrige Bereich an der Wasserscheide ist durch Höhen zwischen 150 und 100 m ü. NN gekennzeichnet. Der Anschlussbereich zum Gebietsinneren hin weist Höhenlagen von 100 bis 50 m ü. NN auf, die Niederungen liegen zwischen 50 und 25 m ü. NN. Im äußersten Westen der mittleren Niederrheinebene befindet sich ein kleinerer Bereich mit Höhen unter 25 m ü. NN. Die höchsten Erhebungen mit bis zu circa 260 m ü. NN treten im Bereich der Ardeyhöhe am südöstlichen Rand des Einzugsgebietes auf.

Der Höhenunterschied zwischen der Emscher-Quelle und Mündung beträgt 123 m (144 bis 21 m ü. NN), so dass sich bei einer Lauflänge von 84,84 km ein mittleres Gefälle von 1,45 ‰ ergibt. Das Einzugsgebiet der Emscher liegt in der maritim beeinflussten nordwestdeutschen Klimaregion. Die durchschnittlichen jährlichen Niederschlagshöhen (Jahresreihe 1951-1980) bewegen sich im südlichen Einzugsgebiet bei etwa 870 mm und nehmen zum westlichen Bereich hin auf 725 mm ab. Das Tagesmittel (Jahresreihe 1931-1960) der Lufttemperatur liegt im südlichen Gebiet bei circa 10,5°C, im östlichen und nordwestlichen Gebiet bei rund 9,5°C.

Am Pegel Oberhausen-Königstraße wird aus dem bis dorthin 773 km² großen Einzugsgebiet fast der gesamte Abfluss der Emscher gemessen. Er beträgt für die Reihe der Abflussjahre 1979-2001 als mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ) 9,38 m³/s und als Abflussspende (MNq) 12,1 l/(s*km²). Der mittlere Abfluss (MQ) beträgt 16,3 m³/s (Mq 21,1 l/(s*km²)) und der mittlere Hochwasserabfluss (MHQ) 132 m³/s (MHq 171 l/(s*km²)). Der größte Hochwasserabfluss wurde hier mit 250 m³/s im Januar 1995 registriert.

3.2 Wupper

Die Wupper gehört zum Gewässersystem des Rheins und entspringt im Oberbergischen Land, einem Teil des Rheinischen Schiefergebirges. Das Einzugsgebiet hat eine Größe von circa 814 km² (WUPPERVERBAND, 2002). Die Wupperquelle liegt in der Nähe der Ortschaft Börlinghausen (445 m ü. NN). Bei Opladen verlässt die Wupper das Mittelgebirge und durchfließt die Köln-Bonner Rheinebene, um nach circa 115 km Fließstrecke bei Leverkusen (48 m ü. NN) in den Rhein zu münden.

Die Höhendifferenz von der Quelle bis zur Mündung beträgt 397 m, daraus ergibt sich ein durchschnittliches Gesamtgefälle von 3,5 ‰. Das Gefälle ist in einzelnen Teilstrecken jedoch naturgemäß unterschiedlich und nimmt zur Mündung hin ab. So fließt die Obere Wupper in einem steilwandigen, gewundenen Tal mit einem Gefälle von durchschnittlich 5,4 ‰, das Gefälle der Unteren Wupper beträgt nur noch durchschnittlich 2,3 ‰.

Das durch atlantisch-ozeanisches Klima mit vergleichsweise kühlen Sommern und milden Wintern geprägte Einzugsgebiet der Wupper gehört mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 1.100 mm/a zu den regenreichsten Gebieten in der Bundesrepublik Deutschland (KELLER, 1978). Weil sich im Bergischen Land unter der Stauwirkung ozeanischer Luftmassen Steigungsregen bilden, sind die Niederschlagsmengen in den Höhenlagen der Obere Wupper mit 1.388 mm/a (Remscheid-Lennep) wesentlich höher als an der Unteren Wupper mit 754 mm/a (Leverkusen).

Für den Pegel Opladen, welcher sich 5,5 km oberhalb der Mündung befindet und ein Einzugsgebiet von 606 km² erfasst, liegen Abflussdaten für die Jahresreihe 1988-2001 vor (WUPPERVERBAND, 2002). Der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) beträgt hier 5,4 m³/s, der mittlere Abfluss (MQ) 15,3 m³/s und als Abflussspende (Mq) 25,2 l/(s*km²). Der mittlere Hochwasserabfluss (MHQ) liegt bei 117 m³/s.

3.3 Bode

Die Bode entsteht durch den Zusammenfluss von Kalter Bode und Warmer Bode in Königshütte (424 m ü. NN). Beide Quellbäche entstehen aus Hochmoorabflüssen am östlichen Abhang des Brocken-Wurmberg-Massivs (DOBLER, 1999). Nach circa 35 km Fließlänge verlässt die Bode bei Thale (160 m ü. NN) den Harz, um nach weiteren 134 km bei Nienburg (70 m ü. NN) in die Saale zu münden. Daraus ergibt sich ein mittleres Gefälle von 2,1 ‰.

Die Fläche des Einzugsgebietes der Bode beträgt insgesamt 3.297 km² und gehört dem Saale-Elbe-System an. Die größten Erhebungen bilden der Brocken (1.142 m ü. NN) am westlichen Rand des Einzugsgebietes und der Ramberg (582 m ü. NN).

Der überwiegende Teil des Einzugsgebietes gehört dem Klimabezirk "Unterharz" innerhalb des Klimagebietes "Mitteldeutsches Berg- und Hügellandklima" an, wobei die mittleren Jahrestemperaturen (5,5 bis 8,0°C) von Westen nach Osten zu- und die mittleren Jahresniederschläge (1.100 bis 600 mm/a) abnehmen. Die Einzugsgebiete der Kalten und Warmen Bode, die im Einflussbereich des Brockens liegen, sind teilweise noch dem niederschlagsreichen und kühlen Klimabezirk "Oberharz" (1.100 bis > 1.400 mm/a; 3,0 bis 5,5°C) zuzurechnen. Der Klimabezirk "Nördliches Harzvorland", dem auch Teile des nördlichen Harzrandes und

des östlichen Unterharzes angehören, ist wegen der Höhenlage und des Föhneffektes thermisch begünstigt und trockener (7,5 bis 8,5°C; 500 bis 600 mm/a).

Bei der Betrachtung der hydrologischen Kenngrößen des Pegels Wendefurth ist zu beachten, dass diese durch die dortige Talsperre beeinflusst werden. Im Allgemeinen führen Talsperrenanlagen zu einer Verringerung, in Trockenzeiten aber auch zu einer Erhöhung der Abflussmengen. Für die Jahresreihe 1968-1995 beträgt der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) am Pegel Wendefurth 1,2 m³/s, der mittlere Abfluss (MQ) 3,8 m³/s und der mittlere Hochwasserabfluss (MHQ) 24,0 m³/s. Der größte Hochwasserabfluss betrug 88,2 m³/s (14.04.1994). Die mittlere Abflussspende (Mq) liegt hier bei 12,1 l/(s*km²).

Tabelle 3.1: Charakteristika der untersuchten Regionen

Parameter	Einheit	Emscher	Wupper	Bode
Einzugsgebietsgröße	[km²]	860	814	3297
Fließlänge	[km]	85	115	169
mittleres Gefälle	[‰]	1.5	3.5	2.1
Höhenlage Fließgewässer	[m ü. NN]	144 - 21	445 - 48	424 - 70
Δ h_{Fließgewässer}	[m]	123	397	354
Höhenlage Einzugsgebiet	[m ü. NN]	260 - 21	480 - 48	1142 - 70
Δ h_{Einzugsgebiet}	[m]	239	432	1072
Höhenlage Regenschreiber	[m ü. NN]	88 - 33	360 - 128	565 - 110
Δ h_{Regenschreiber}	[m]	55	232	455
mittlerer Jahres-Niederschlag	[mm/a]	870 - 725	1388 - 754	1100 - 600
MNQ	[m³/s]	9.4	5.4	1.2
MQ	[m³/s]	16.3	15.3	3.8
MHQ	[m³/s]	132	117	24
HQ	[m³/s]			88.2
HHQ	[m³/s]	250		
Mq	[l/(s*km²)]	21.1	25.2	12.1

4 Datengrundlage und statistische Auswertung

4.1 Datengrundlage

Die Qualität und Quantität der zugrunde gelegten Daten ist maßgebend für die Aussagekraft der Ergebnisse. Wichtige Faktoren sind hierbei die lückenlose und korrekte Aufzeichnung der Regenschreiberdaten (Qualität) sowie das Vorhandensein langer Zeitreihen an einer großen Anzahl von Stationen in der betrachteten Region (Quantität). Diese Kriterien werden von den in Kapitel 3 vorgestellten Untersuchungsgebieten erfüllt.

Die verwendeten Daten wurden von der Emschergenossenschaft und dem Lippe-Verband (EG/LV), dem Wupperverband (WV) sowie dem Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellt, wofür wir uns an dieser Stelle bedanken möchten.

Nachfolgend wird die jeweilige Datengrundlage für die untersuchten Regionen vorgestellt. Eine Übersicht der wesentlichen Unterschiede gibt Tabelle 4.4 (Seite 16).

4.1.1 Emscher

Von der Emschergenossenschaft und dem Lippe-Verband wird ein dichtes Netz von Regenschreibern betrieben, von denen 30 nach Lage und Länge der Aufzeichnungen ausgewählt werden (Abbildung 4.1). Die Stationsbezeichnungen sowie die Länge der vorhandenen Zeitreihen ist

Tabelle 4.1 zu entnehmen. Diese Daten werden vom EG/LV zur Verfügung gestellt. Für alle Stationen liegen Zeitreihen von 5-min-Werten von mindestens 44 Jahren vor, die durchschnittliche Länge der vorhandenen Zeitreihen beträgt 57,5 Jahre. Der Abstand der einzelnen Stationen untereinander variiert von 2,5 km bis 17 km. Aufgrund der Datenbasis wird der Auswertzeitraum auf 42 Jahre (1953 bis 1994) festgelegt.

Einige der in diesem Projekt verwendeten Niederschlagsstationen befinden sich im hier nicht näher vorgestellten Einzugsgebiet der Lippe (Abbildung 4.1).

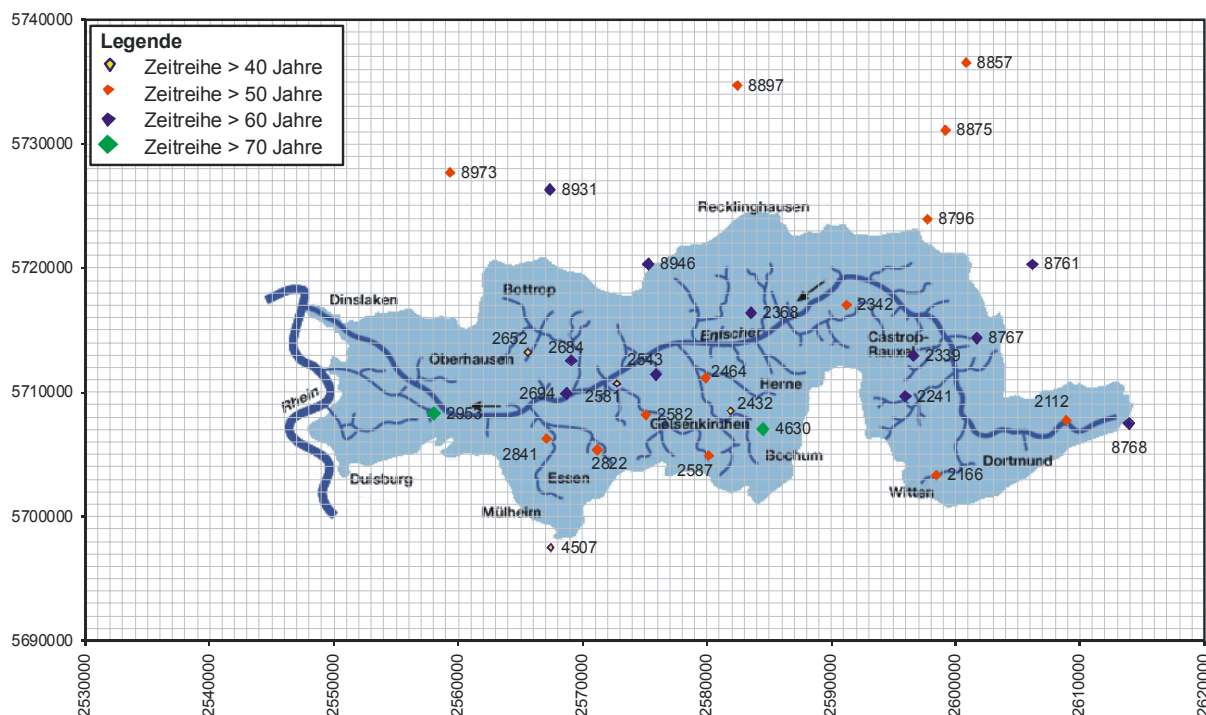


Abbildung 4.1: Einzugsgebiet der Emscher und Lage der verwendeten Messstationen

Tabelle 4.1: Verwendete Messstationen im Emscher/Lippegebiet

Nr.	Bez.	Stationsname	vorhandene Daten	fehlende Daten	Jahre	Rechtswert	Hochwert	Höhe ü.NN
1	2112	Dortmund-Aplerbeck	01.01.1948 - 31.12.2000		53.00	2608873	5707753	108
2	2166	Dortmund-Kruckel	01.01.1950 - 31.12.2000		51.00	2598460	5703320	100
3	2241	Dortmund-Marten	01.01.1937 - 31.12.2000		64.00	2595950	5709660	
4	2339	Dortmund-Nettebach	01.01.1937 - 31.12.2000		64.00	2596590	5712970	70
5	2342	Castrop-Rauxel-Habingh.	01.01.1931 - 28.09.1997	1937-1950	52.74	2591220	5717030	
6	2368	Re.-Im Reitwinkel	01.02.1937 - 30.09.2003		66.66	2583530	5716380	
7	2432	Bochum	01.01.1950 - 14.02.1996	16.03.-31.12.1995	45.32	2581910	5708500	
8	2464	Herne-Bickern	01.01.1949 - 31.12.1999		51.00	2579900	5711160	43
9	2543	Gelsenkirchen-Bismarck	01.01.1942 - 30.09.2003		61.75	2575900	5711430	36
10	2581	Gelsenkirchen-Hessler	02.01.1951 - 31.12.2000	1995-1997	46.99	2572740	5710710	34
11	2582	Gelsenkirchen-Altstadt	01.01.1950 - 30.09.2003		53.75	2575110	5708170	37
12	2587	Wattenscheid	01.01.1950 - 30.09.2003		53.75	2580140	5704890	60
13	2652	Bottrop-Eigen	01.01.1952 - 28.02.1997		44.16	2565590	5713230	
14	2684	Gladbeck-Hahnenbach	06.05.1933 - 31.12.1999	1942-1949	58.65	2569080	5712580	
15	2694	Bottrop-Boye	01.07.1929 - 31.12.2000	1950-1952 / 1997	67.50	2568700	5709910	40
16	2822	Essen-Stoppenberg	01.01.1950 - 30.09.2003		53.75	2571180	5705370	40
17	2841	Essen-Hesselbruch	01.01.1950 - 31.12.2000		51.00	2567060	5706260	37
18	2953	Pw. Oberhausen-Buschhausen	01.01.1931 - 31.12.2000		70.00	2558020	5708270	33
19	4507	Essen-Bredeney (LIS)	02.04.1948 - 31.12.1994		46.74	2567400	5697500	
20	4630	Bochum DMT	01.01.1931 - 30.09.2003		72.75	2584490	5707060	77
21	8761	Lünen/Sesekemündung	01.01.1936 - 31.12.2000		65.00	2606166	5720293	
22	8767	Kurl	01.01.1936 - 31.12.2000		65.00	2601680	5714360	66
23	8768	Unna-Billmerich	01.03.1936 - 31.12.2000		64.83	2613928	5707480	88
24	8796	Waltrop	01.01.1942 - 31.12.2000		59.00	2597730	5723920	53
25	8857	Lüdinghausen	01.01.1950 - 31.12.2000		51.00	2600820	5736550	
26	8875	Selm	01.01.1951 - 31.12.2000		50.00	2599200	5731080	50
27	8897	Haltern KA	01.01.1950 - 31.12.2000		51.00	2582420	5734700	41
28	8931	Dorsten-Hasewinkel	11.01.1936 - 31.12.2000		64.97	2567380	5726300	35
29	8946	Westerholt	01.01.1936 - 30.09.2003		67.75	2575270	5720320	63
30	8973	Scherbeck KA	01.01.1950 - 31.12.2000		51.00	2559350	5727680	

(gelb unterlegt: Mittelpunktstationen, siehe Kapitel 6.2)

4.1.2 Wupper

Bei den vom Wupperverband bereitgestellten Daten handelt es sich ebenfalls um 5-Minuten-Werte, die jahresweise digital vorliegen. Hier stehen 27 Stationen zur Verfügung, von denen 14 aufgrund der Datenbasis ausgewählt und für einen Zeitraum von 11 Jahren (1990 bis 2000) ausgewertet werden. Details zur Lage der Messstationen sowie zur Länge der vorhandenen Zeitreihen können der Abbildung 4.2 und der Tabelle 4.2 entnommen werden.

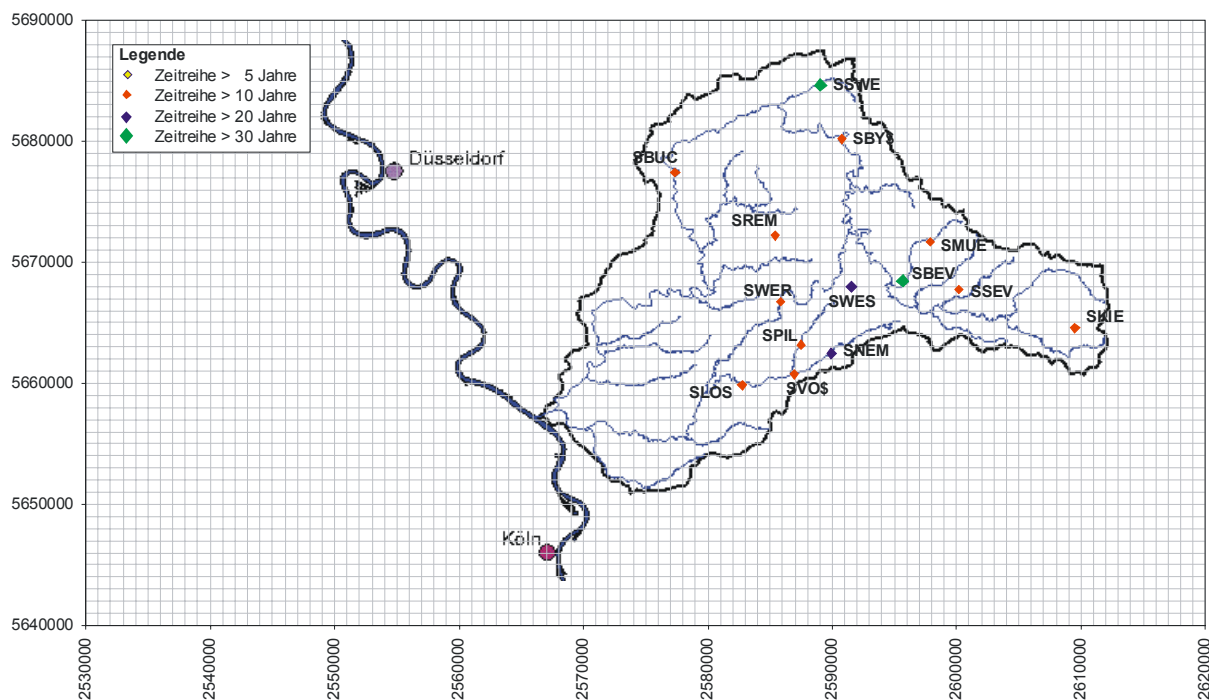


Abbildung 4.2: Einzugsgebiet der Wupper und Lage der verwendeten Messstationen

Tabelle 4.2: Verwendete Messstationen im Wuppereinzugsgebiet

Nr.	Bez.	Stationsname	vorhandene Daten	fehlende Daten	Jahre	Rechtswert	Hochwert	Höhe ü.NN
1	SBEV	Bever-Talsperre	06.12.1967 - 01.11.2000		32.90	2595640	5668470	297
2	SBUC	Buchenhofen	01.01.1990 - 29.11.2000	17.+18.11.2000	10.91	2577380	5677390	128
3	SBY\$	Beyenburg	01.01.1989 - 01.11.2000		11.83	2590760	5680180	199
4	SKIE	Klw. Kierspe	01.11.1987 - 01.11.2000		13.00	2609518	5664552	360
5	SLOS	Loosenau	01.10.1987 - 14.02.2000		12.37	2582730	5659840	
6	SMUE	Müllensiepen	01.10.1989 - 02.11.2000		11.09	2597910	5671680	298
7	SNEM	Neumühle	20.01.1975 - 31.10.2000		25.78	2589940	5662460	183
8	SPIL	Unterpilghausen	08.09.1987 - 07.05.2001		13.66	2587520	5663180	180
9	SREM	Stadtw. Remscheid	01.10.1990 - 31.10.2000		10.08	2585440	5672210	
10	SSEV	Schevelinger Talsperre	01.11.1990 - 05.11.2000		10.01	2600160	5667780	312
11	SSWE	Klw. Schwelm	01.11.1970 - 01.11.2000		30.00	2589040	5684650	
12	SVO\$	Vorsperre Gr. Dhünn	09.09.1987 - 30.11.2000		13.23	2586920	5660730	180
13	SWER	Klw. Wermelskirchen	01.10.1990 - 31.10.2000		10.08	2585850	5666730	229
14	SWES	Westhofen	19.01.1976 - 05.11.2000		24.79	2591520	5667950	346

4.1.3 Bode

Die Daten für das Einzugsgebiet der Bode werden vom Deutschen Wetterdienst Berlin zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich um Tageswerte von 24 Messstationen, von denen 18 für die Untersuchung ausgewählt werden (Abbildung 4.3 und Tabelle 4.3). Der Auswertzeitraum wird auf 24 Jahre (1970 bis 1993) festgelegt.

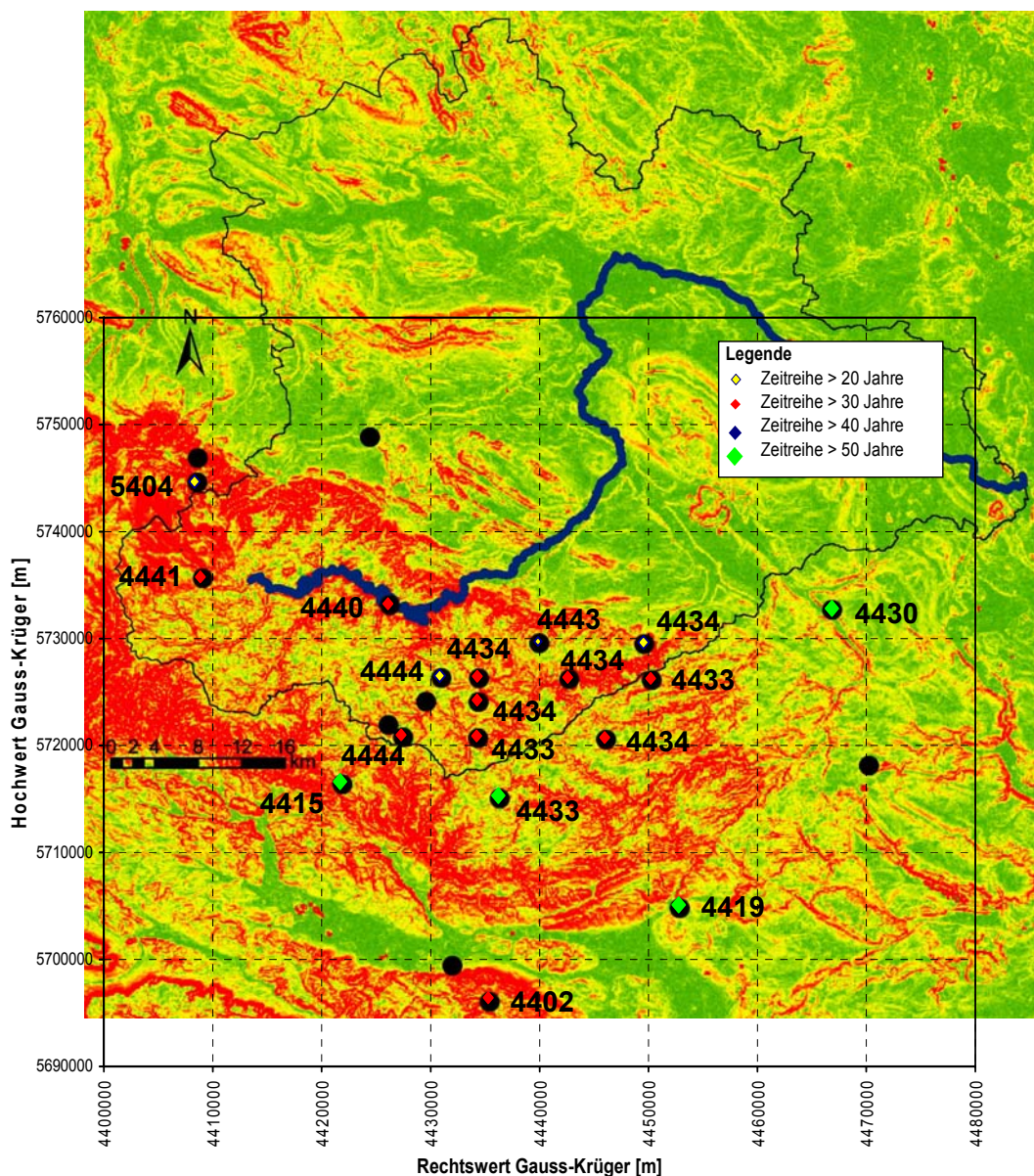


Abbildung 4.3: Einzugsgebiet der Bode und Lage der verwendeten Messstationen

Tabelle 4.3: Verwendete Messstationen im Bodeeinzugsgebiet

Nr.	Bez.	Stationsname	vorhandene Daten	fehlende Daten	Jahre	Rechtswert	Hochwert	Höhe
1	44024	Steinthaleben (Rathsfeld)	01.01.1969 - 31.12.2004	31.05.2004 - 01.07.2004	35.91	4435288	5696412	380
2	44157	Neustadt/Harz (Talsp.)	01.01.1951 - 31.12.2004	31.12.2003 - 01.04.2004	53.74	4421680	5716631	454
3	44196	Sangerhausen	01.01.1951 - 31.12.2004		54.00	4452766	5705120	179
4	44308	Mehringen	01.01.1951 - 31.12.2002		52.00	4466841	5732821	110
5	44333	Hayn/Harz	01.01.1951 - 31.12.2004		54.00	4436221	5715314	435
6	44338	Pansfelde	01.01.1969 - 31.12.2001	31.08.1994 - 01.10.1994	32.91	4450195	5726283	275
7	44339	Strassberg	01.01.1969 - 31.12.2004		36.00	4434214	5720903	400
8	44340	Harzgerode (Forsth.Sche)	01.05.1969 - 31.12.2004		35.66	4442586	5726364	250
9	44341	Schielo	01.05.1969 - 31.12.2004		35.66	4445986	5720763	372
10	44342	Pansfelde (Burg Falk.)	01.01.1969 - 31.10.1994		25.83	4449537	5729627	326
11	44345	Siptenfelde (Forsth.Uhl)	01.05.1969 - 31.12.2004		35.66	4434286	5726465	412
12	44346	Siptenfelde	01.05.1969 - 31.12.2002		33.66	4434257	5724240	395
13	44408	Altenbrak	01.01.1969 - 31.12.2004		36.00	4426083	5733254	300
14	44417	Elend	01.01.1969 - 31.12.2004		36.00	4408854	5735762	500
15	44436	Gernrode-Sternhaus	01.01.1969 - 31.12.1996		28.00	4439859	5729733	412
16	44442	Breitenstein	01.01.1969 - 31.12.2002		34.00	4427289	5720998	466
17	44444	Guenthersberge (Gut)	01.05.1969 - 31.05.1998		29.08	4430828	5726511	444
18	54048	Ilsenburg (Plessenburg)	01.01.1969 - 30.04.1999	31.10.1996 - 01.06.1997 30.09.1997 - 01.11.1997	29.66	4408326	5744674	565

Zusammenfassend sind in Tabelle 4.4 die wesentlichen Unterschiede herausgestellt.

Tabelle 4.4: Datengrundlage in den untersuchten Regionen

	Emscher	Wupper	Bode
Daten zur Verfügung gestellt von	EG/LV	WV	DWD
Anzahl Stationen gesamt	30	27	24
Länge der Aufzeichnungen (älteste / jüngste)	1929 / 2003	1967 / 2001	1951 / 2004
Länge der Aufzeichnungen (min / max [Jahre])	44 / 73	5 / 33	14 / 54
Länge der Aufzeichnungen (Ø [Jahre])	57	13	37
Intervallbreite Δt	5 min	5 min	1 d
Lage der Stationen (max - min [m ü.NN])	88 - 33	360 - 43	565 - 110
Lage der Stationen ($\Delta h_{\text{Regenschreiber}}$ [m])	55	317	455
Lage der Stationen (Ø [m ü.NN])	50	216	348
Anzahl verwendeter Stationen	30	14	18
gewählter Auswertzeitraum	1953 - 1994	1990 - 2000	1970 - 1993
gewählter Auswertzeitraum [Jahre]	42	11	24
Intervallbreite Δt	5 min	5 min	1 d
Lage der Stationen (max - min [m ü.NN])	88 - 33	360 - 128	565 - 110
Lage der Stationen ($\Delta h_{\text{Regenschreiber}}$ [m])	55	232	455
Lage der Stationen (Ø [m ü.NN])	50	247	371

4.2 Statistische Auswertung

Als Berechnungsgrundlage dienen die 5-Minuten-Werte (Region Bode: Tageswerte) jeder Station, die für alle Zeitreihen digital vorliegen. Für die weitere Verarbeitung werden diese Dateien zunächst auf Fehler überprüft, gegebenenfalls korrigiert, und anschließend in das Massen-Daten-Format (MD-Format) transformiert. Hierbei werden die Summenlinien nicht auf die Tageswerte angehoben, Lücken (fehlende Daten) werden nicht gefüllt sondern als Lücken übernommen.

Eine Prüfung und Korrektur bezüglich der Zeitsynchronisation wird nicht vorgenommen. Diese Unzuverlässigkeit der von Schreibstreifen abdigitalisierten Daten ergibt sich zum Beispiel aus nicht exakt erfassten Zeitstrichen oder Gangungenauigkeiten des Uhrwerks. Da diese Fehler nicht einheitlich auftreten, ist eine Korrektur schwer möglich. Eine Zeitsynchronisation mittels Korrelation ist hier nicht sinnvoll, da Zeitversätze durch Zugrichtung oder konvektive örtliche Singularitäten gerade erkannt und untersucht werden sollen. Generell dürfte diese Problematik vorwiegend bei kurzen Dauerstufen (bis 1 h) auftreten, so dass die Auswirkungen im Weiteren als vernachlässigbar angenommen werden.

Aus den vorliegenden 5-Minuten-Intervallen der Regionen Emscher und Wupper werden Blockintervalle mit 1 Stunden- und 1 Tages-Auflösung erstellt. Anschließend werden für alle Regionen jährliche und partielle Serien der Starkniederschläge für die Zeitspannen "Jahr" (Januar bis Dezember) sowie "Sommer" (Mai bis September) für die in Tabelle 4.5 angegebenen Dauerstufen gebildet.

Tabelle 4.5: Dauerstufen zur Erstellung der jährlichen und partiellen Serien
a) Dauerstufen für die Regionen Emscher und Wupper

Intervallbreite	Dauerstufen										
5 Minuten [']	5'	10'	15'	20'	30'	45'	60'	90'	2h	3h	4h
1 Stunde [h]	6h	8h	12h	18h	24h						
1 Tag [d]	2d	3d									

b) Dauerstufen für die Region Bode

Intervallbreite	Dauerstufen										
1 Tag [d]	1d	2d	3d	4d	6d	7d					

Die aus dieser Datenbasis gebildeten partiellen Serien bestehen je nach Auswertez Zeitraum aus einer unterschiedlichen Anzahl an Werten. Zum Beispiel ergeben sich bei einem Auswertez Zeitraum von 42 Jahren 120 Werte, entsprechend der Maßgabe, dass insgesamt nicht mehr als die 3-fache Anzahl der Jahre des jeweiligen Auswertez Zeitraumes an Werten über dem Schwellenwert für die partiellen Serien liegen sollen. Die jährlichen Serien bestehen aus den Jahreshöchstwerten, dementsprechend ist die Anzahl der Werte identisch mit der Anzahl der Jahre innerhalb des jeweiligen Auswertez Zeitraumes.

Aus diesen jährlichen und partiellen Serien werden die Niederschlagsstatistiken nach ATV-Arbeitsblatt A121 erstellt (ATV, 1985).

Die geschätzte Wiederkehrzeit der Stichprobenwerte wird mit folgender Plotting-Position-Formel berechnet, wie sie in A121 empfohlen ist:

$$T_{n,k} = \left[\frac{L + 0,2}{k - 0,4} \right] \cdot \frac{M}{L}$$

- mit: M Länge der Messreihe (Jahre)
- L Stichprobenumfang
- k Laufindex der Stichprobenwerte (k = 1 größter, k = L kleinster Wert)

Als Bereichsgrenzen für den Ausgleich der Parameter w und u werden die Stützpunkte von KOSTRA verwendet (60 min / 720 min [= 1 h / 12 h]), so dass sich die gleichen Bereiche wie in KOSTRA ergeben. Für die Region Bode wird keine Bereichsaufteilung vorgenommen.

Die statistischen Niederschlagshöhen werden für die weiteren Auswertungen für die in Tabelle 4.6 angegebenen Dauerstufen und Wiederkehrzeiten berechnet.

Tabelle 4.6: Dauerstufen und Wiederkehrzeiten für die Niederschlagsstatistik

a) Dauerstufen für die Regionen Emscher und Wupper

	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240
Dauerstufen [min]	360	540	720	1080	1440						
	2880	4320									

b) Dauerstufen für die Region Bode

Dauerstufen [min]	1440	2880	4320	5760	8640	10080
--------------------------	------	------	------	------	------	-------

Wiederkehrzeiten [a]	1	2	3,3	5	10	20	25	33,3	50	100
-----------------------------	---	---	-----	---	----	----	----	------	----	-----

Die statistische Auswertung der Niederschlagsdaten erfolgt sowohl für die Punktniederschläge als auch für die Gebietsniederschläge (siehe Kapitel 5) nach dem oben beschriebenen Verfahren.

Auf die Vorteile der Verwendung statistisch ausgewerteter Niederschlagsdaten gegenüber der in bisherigen Untersuchungen durchgeführten Analyse von einzelnen Niederschlagsereignissen wird ausführlich in Kapitel 6 eingegangen.

5 Gebietsniederschläge

In der DIN 4049 ist der Gebietsniederschlag definiert als Niederschlagshöhe gemittelt über ein bestimmtes Gebiet, ausgedrückt als Wasserhöhe über der horizontalen Fläche des Gebietes in einer Betrachtungszeitspanne.

Als Gebiet wird im Rahmen dieses Projektes eine kreisförmige Fläche bezeichnet (siehe Kapitel 5.3).

Zur Berechnung von Gebietsniederschlägen gibt es diverse Verfahren (Giesecke et al., 1983). Im Rahmen dieses Projektes werden zwei Berechnungsverfahren miteinander verglichen: das Thiessen-Polygon- und das Rasterpunkt-Verfahren. Beide Verfahren werden im Folgenden kurz erläutert.

Tabelle 5.1 auf Seite 19 enthält zusammengefasst die wesentlichen Unterschiede dieser beiden Verfahren.

5.1 Thiessen-Polygon-Verfahren

Beim Thiessen-Polygon-Verfahren werden jeweils zwei Stationen durch eine Gerade verbunden. Die Einflussgebiete der einzelnen Regenschreiber werden mit Hilfe der zugehörigen Mittelsenkrechten voneinander getrennt (Abbildung 5.1). Diese Teilflächen gehen gewichtet in die Berechnung des Gebietsniederschlags ein; die Wichtungsfaktoren der einzelnen Stationen ergeben sich aus der Division der entsprechenden Teilfläche durch die Gesamtfläche.

$$h_{NG} = \frac{1}{A_G} \cdot \sum_{i=1}^n (h_{Ni} \cdot A_i)$$

- mit: A_G Gesamtfläche des untersuchten Gebietes [km^2]
 A_i Teilfläche, die der Station i nach Aufteilung von A_G in Thiessen-Polygone zugeordnet wird [km^2]
 n Anzahl der Stationen bzw. Polygone [-]

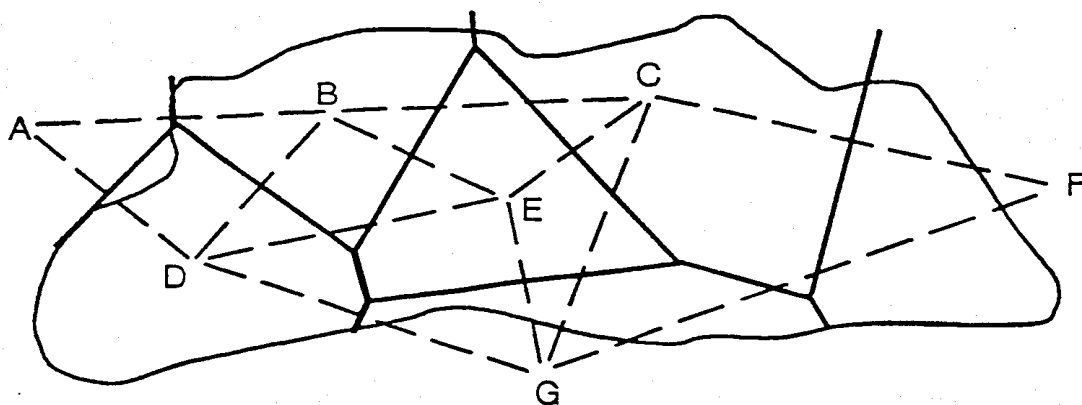


Abbildung 5.1: Schematische Darstellung des Thiessen-Polygon-Verfahrens

5.2 Rasterpunkt-Verfahren

Bei diesem Regionalisierungsverfahren wird ein äquidistantes, orthogonales Rasternetz über das Untersuchungsgebiet gelegt (Abbildung 5.2). Die Niederschlagshöhen an den Schnittstellen werden aus den Messstationen errechnet, die dem Schnittpunkt in jedem der vier Quadranten am nächsten liegen. Nach Ermittlung des gewichteten Rasterpunktniederschlags werden alle Rasterpunktswerte arithmetisch gemittelt.

Quadrantenmethode:

$$W_{j,k} = \frac{1}{\sum_{k=I}^{IV} \frac{1}{D_{j,k}^2}} \quad \text{wobei} \quad \sum_{k=I}^{IV} W_{j,k} = 1,0$$

Gebietsniederschlag:

$$h_{NG} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n N_j \quad \text{mit} \quad N_j = \sum_{k=I}^{IV} W_{j,k} \cdot N_{i,k}$$

- mit:
- $W_{j,k}$ Gewicht für die Werte der jeweiligen Messstation [-]
 - $D_{j,k}$ Abstand zur nächstgelegenen Niederschlagsstation [m]
 - j Rasterpunkt-Nummer [-]
 - k Quadrant (I bis IV) [-]
 - N_j berechnete Niederschlagshöhe des jeweiligen Rasterpunktes [mm]
 - $N_{i,k}$ Niederschlagshöhe der Messstation i im Quadranten k [mm]

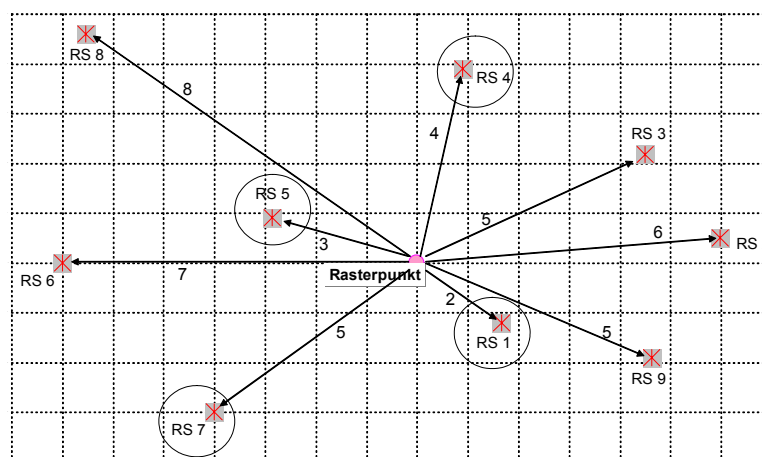


Abbildung 5.2: Schematische Darstellung des Rasterpunkt-Verfahrens

Tabelle 5.1: Unterschiede zwischen den beiden gewählten Verfahren zur Ermittlung des Gebietsniederschlags

Verfahren	Eigenschaften / Besonderheiten
Thiessen-Polygon-Verfahren	- an den Grenzen der Polygone entstehen "Sprünge" in der Niederschlagshöhe
Rasterpunkt-Verfahren	- es gibt keine verfahrensbedingten "Sprünge" in der Niederschlagshöhe - Einflüsse benachbarter Stationen werden auch bei kleinen Gebieten berücksichtigt - feinere Abstufungen der berechneten Gebietsniederschläge im Vergleich zum Thiessen-Polygon-Verfahren

5.3 Vorgehen zur Berechnung der Gebietsniederschläge

Zur Ermittlung der Gewichtsanteile der einzelnen Stationen am Gebietsniederschlag wird das Rasterpunkt-Verfahren aufgrund der oben genannten Vorteile, die sich in den Berechnungsergebnissen widerspiegeln, als geeigneter gegenüber dem Thiessen-Polygon-Verfahren bewertet und dementsprechend für die weiteren Untersuchungen ausgewählt.

Des Weiteren wird eine Untersuchung durchgeführt, inwieweit die gewählte Rasterweite einen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse hat. Hierzu werden Rasterweiten von 1x1 km, 500x500 m, 200x200 m sowie 100x100 m miteinander verglichen. Da die Rasterweite von 100x100 m erwartungsgemäß die genauesten Ergebnisse bei geringfügig höherer Rechenzeit liefert, wird diese für die Berechnungen verwendet.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Gebietsniederschläge erfolgt für jede Region analog. Es werden verschiedene Gebietsgrößen gewählt (Abbildung 5.3 und Tabelle 5.2), die als konzentrische Kreise um einen Mittelpunkt angeordnet werden. Um die Unabhängigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, werden innerhalb des jeweiligen Untersuchungsgebietes mehrere Mittelpunkte so gewählt, dass mit größer werdenden Gebieten unterschiedliche Regenschreiberstationen in den Randbereichen des Messnetzes berücksichtigt werden. Weitere Kriterien zur Wahl der Mittelpunkte sind in Kapitel 6.1 nachzulesen, da diese einen relevanten Einfluss auf die zu ermittelnden Abminderungsfaktoren haben.

Bei der Wahl der zu untersuchenden Gebietsgrößen wird darauf geachtet, dass Radius und Fläche mit größer werdenden Gebieten eine lineare Zunahme aufweisen.

Abbildung 5.3 enthält eine graphische Darstellung der gewählten Gebietsgrößen. An den Ordinaten sind die zugehörigen Flächen (in km²) sowie die Radien (in km) im logarithmischen Maßstab aufgetragen. Ferner sind in dieser Graphik die entsprechenden Gebietsgrößen als konzentrische Kreise dargestellt (ohne Achsenbezug). Die zugehörigen Zahlenwerte sind Tabelle 5.2 zu entnehmen.

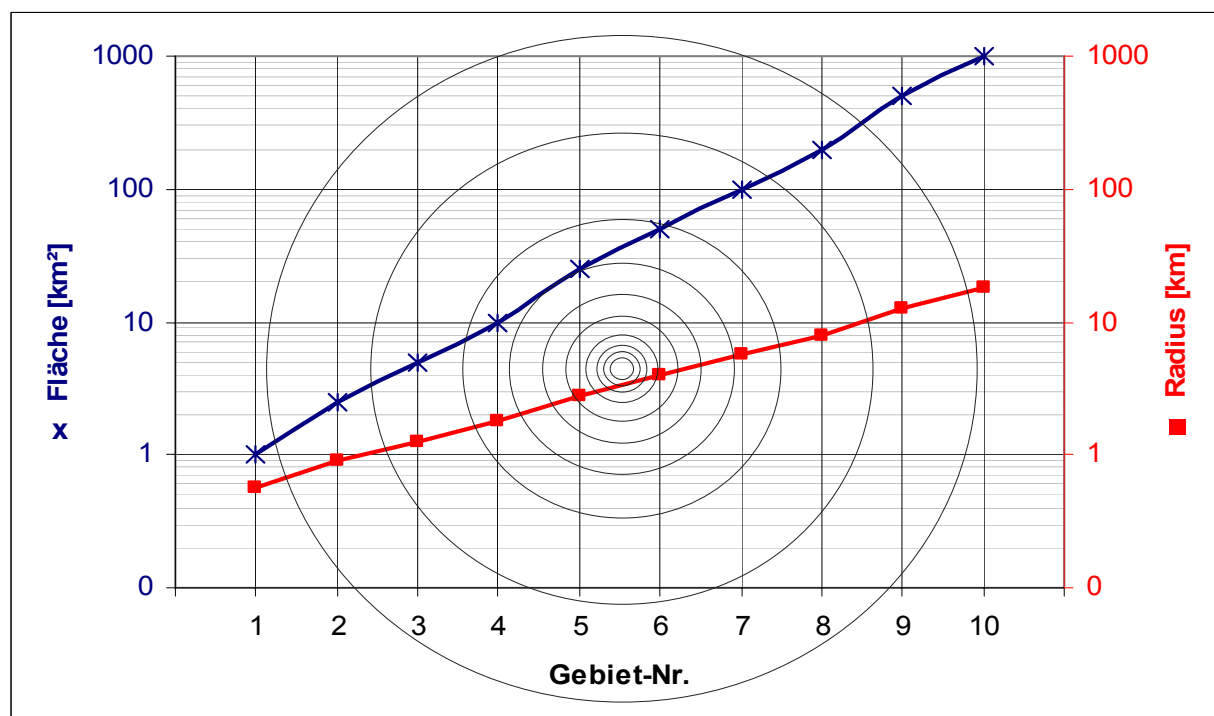


Abbildung 5.3: Gewählte Gebietsgrößen

Tabelle 5.2: Gewählte Gebietsgrößen

Gebiets-Nummer	Gebietsgrößen									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fläche [km²]	1	2,5	5	10	25	50	100	200	500	1000
Radius [km]	0,56	0,89	1,26	1,78	2,82	3,99	5,64	7,98	12,62	17,84
Durchmesser [km]	1,13	1,78	2,52	3,57	5,64	7,98	11,28	15,96	25,23	35,68

Die Gebietsgröße von $A = 1 \text{ km}^2$ dient hierbei lediglich als Kontrollgröße, da bei derartig kleinen Gebieten der Gebietsniederschlag identisch mit dem Punktniederschlag ist, so dass sich Abminderungsfaktoren von 1,0 ergeben.

Für die Berechnung der Gebietsniederschläge wird das orthogonale, äquidistante Raster (100x100 m) so über das jeweilige Untersuchungsgebiet gelegt, dass der gewählte Mittelpunkt exakt auf einem Rasterpunkt liegt, es wird also für jeden Mittelpunkt verschoben (siehe auch Kapitel 6.1). Mit der Quadrantenmethode werden die Gewichtsanteile der einzelnen Niederschlagsstationen ermittelt, die nach folgender Formel in die Berechnung eingehen:

$$h_N = \sum_{i=1}^n (G_i \times N_i) \quad \text{mit} \quad 0 \leq G_i \leq 1$$

mit: h_N Gebietsniederschlagshöhe [mm]

G_i Gewichtsanteil der zugehörigen Niederschlagsstation [-]

N_i Niederschlagshöhe der zugehörigen Niederschlagsstation [mm]

Da diese Berechnung für jeden 5-Minuten-Wert (beziehungsweise Tageswert für die Region Bode) erfolgt, werden somit gleichartige Zeitreihen von Punkt- und Gebietsniederschlägen erzeugt. Die statistische Auswertung erfolgt nach ATV-Arbeitsblatt A121 analog zu dem in Kapitel 4 beschriebenen Verfahren für Punktniederschläge. Die Vergleichbarkeit der zu untersuchenden Daten ist somit gegeben.

6 Abminderungsfaktoren

Abminderungsfaktoren ergeben sich aus dem jeweiligen Verhältnis zwischen Gebietsniederschlag zu Punktniederschlag. Sie lassen sich auf verschiedene Weise ermitteln. Im Folgenden wird auf die verschiedenen Möglichkeiten eingegangen und abschließend erläutert, weshalb die hier gewählte Methode zum Einsatz kommt.

a) Maximum-zentrierte Ereignissummen

Der Bezugspunkt ist der Ortspunkt mit dem größten Niederschlag. Bezogen auf diesen Ortspunkt werden für beliebige Gebietsgrößen, die diesen Punkt beinhalten, Gebietsniederschläge gebildet, z.B. aus Isohyten. Je größer die Fläche, desto geringer der Gebietsniederschlag. Die Abminderung kann beträchtlich sein, wenn die Fläche groß und die Zelle klein ist. Das Zentrum – der Bezugspunkt – wird hier innerhalb einer betrachteten Region immer Ereignis-orientiert gewählt, liegt also immer an anderer Stelle am Boden.

b) Maximum-zentrierte Abschnitte bzw. Zellstrukturen

Das unter a) genannte Verfahren kann auch für kürzere Abschnitte angewandt werden. Innerhalb eines Ereignisses kann dann pro Abschnitt der Bezugspunkt – als maximaler Intensitätswert – jeweils neu bestimmt werden. Es ergibt sich ein wanderndes Maximum. Mit Radar erfasste Zellstrukturen können so verfolgt und bezüglich der Abminderung über die Fläche analysiert werden.

c) Ortspunkt-bezogene Ereignissummen

Wird als Bezugspunkt ein fester Ortspunkt gewählt, so wird der Abminderungsfaktor nur dann kleiner 1, wenn die maximale Niederschlagssumme des Ereignisses am Bezugspunkt aufgetreten ist. Anderenfalls – also im Allgemeinen – kann der Abminderungsfaktor sowohl >1 als auch <1 sein, es tritt also für bestimmte Gebietsgrößen gar keine Abminderung auf, sondern der Gebietsniederschlag ist größer als der Punktniederschlag.

d) Ortspunkt-bezogene statistische Werte

Im Gegensatz zur ereignisweisen Betrachtung werden hier die Ergebnisse von statistischen Auswertungen verwendet.

Hierzu wird zunächst ein Ortspunkt als Bezugspunkt festgelegt, für den eine langjährige Zeitreihe vorhanden ist, aus der die statistischen Punktwerte $h_N(D,T)$ ermittelt werden.

Für ein definiertes Gebiet um diesen Ortspunkt herum wird dann aus den Zeitreihen aller umliegenden Stationen, die entsprechend der verwendeten Wichtungsmethode (z.B. Rasterpunkt oder Thiessen) einen Einfluss auf den Gebietsniederschlag haben, die Zeitreihe der Gebietsniederschläge erstellt (mit dem gleichen äquidistanten Zeitabstand wie die Ausgangsdaten). Diese Zeitreihe wird genauso statistisch analysiert wie die Zeitreihe der Punktniederschläge und liefert statistische Gebietsniederschlagshöhen $h_G(D,T)$.

Für ausgewählte Dauerstufen D und Wiederkehrzeiten T wird abschließend der Abmin-

derungsfaktor AMF bestimmt zu

$$AMF = \frac{h_G(D,T)}{h_N(D,T)}$$

Der so berechnete Abminderungsfaktor hat natürlich eine ganz andere Charakteristik als die ereignisbezogenen Werte, da alle Ereignisse eines Zeitraums in die statistischen

Auswertungen eingehen, auch solche mit gleichmäßiger Überregnung oder mit nicht am Bezugspunkt liegenden Maxima.

Entsprechend dem Ziel von FLAMINKO, Abminderungsfaktoren für statistische Niederschlagshöhen bereit zu stellen, wird hier nur die Vorgehensweise nach Punkt d) angewandt. Die Abminderung der Gebietsniederschlagswerte gegenüber den Punktwerten bezieht sich daher immer auf die statistischen Werte und ist auch nicht auf Ereignis-bezogene Werte zu übertragen. Punkt- und Gebietsniederschlagszeitreihen werden nach dem gleichen statistischen Verfahren analysiert (Kapitel 4.2).

6.1 Festlegung der relevanten Bezugsgröße

Die Wahl des Punktniederschlags, der als Referenzgröße zur Ermittlung der Abminderungsfaktoren dient, hat eine entscheidende Bedeutung. Die verschiedenen Möglichkeiten zur Festlegung dieser Bezugsgröße werden im Folgenden erläutert.

Wenn die konzentrischen Kreise so gelegt werden, dass die Ortspunkte der vorhandenen Stationen möglichst gleichmäßig überdeckt sind, fällt der Mittelpunkt der Kreise nicht notwendigerweise mit dem Ortspunkt einer Station zusammen. Die Verwendung der statistischen Werte einer anderen Station als Bezugsgröße kann dann dazu führen, dass die Abminderungsfaktoren für kleine Gebiete Werte >1 annehmen. Dies ist immer dann der Fall, wenn an den umliegenden Stationen höhere Niederschläge registriert werden als an der Referenz-Station. Generell haben überproportional viele oder wenige extreme Ereignisse bei der als Bezugsgröße gewählten Station eine reduzierende oder erhöhende Auswirkung auf die Abminderungsfaktoren.

Eine weitere Möglichkeit ist, das Mittel der statistischen Werte all der Stationen zu verwenden, die nahe beim Mittelpunkt der Kreise liegen. Aber auch bei dieser Variante sind je nach Datenlage große Verschiebungen möglich. Die Unterschiede der statistischen Punkt-Regenhöhen nahe beieinander liegender Stationen, die aus der statistischen Analyse der einzelnen Zeitreihen ermittelt werden, sind keineswegs so repräsentativ, wie sie sich auf Grund der Zufälligkeit der jeweiligen Stichproben ergeben.

Werden die konzentrischen Kreise so gelegt, dass der Mittelpunkt aller Kreise genau auf dem Ortspunkt einer Station liegt, können die statistischen Werte dieser Station als Bezugsgröße verwendet werden. Das eingangs genannte Problem wird hierdurch allerdings nicht ausgeschlossen, auch hier hängt die Plausibilität der Abminderungsfaktoren von der Repräsentativität der statistischen Punktniederschläge ab. Bei langen Zeitreihen dürfte dieser Effekt gering aber nicht auszuschließen sein, wie einige Testrechnungen zeigen.

Da das Rasterpunkt-Verfahren für die Berechnungen ausgewählt wurde (Kapitel 5), können als Bezugswerte für die Abminderungsfaktoren auch die statistischen Werte des zentralen Rasterpunktes verwendet werden. Die für den zentralen Rasterpunkt ermittelte Zeitreihe der Niederschläge stellt jedoch auch einen Gebietsniederschlag dar, wenn auch für eine sehr kleine Fläche. Die so ermittelten Werte sind dann keine echten Punktwerte, sondern die aus den Daten von vier Stationen ermittelten Werte.

Weitere Variationsmöglichkeiten ergeben sich durch unterschiedliche Wahl von Lage und Abstand der Rasterpunkte. Die Unterschiede sind jedoch nur gering, da besonders bei den

sehr kleinen Gebietsgrößen immer die gleichen Stationen eingehen, deren Gewichte zueinander aber nur geringe Unterschiede aufweisen. Mit der gewählten Rasterweite von 100x100 m (Kapitel 5) liegt eine sehr feine Auflösung vor, so dass Ungenauigkeiten aufgrund dieser Problematik ausgeschlossen werden können.

Die in diesem Projekt zum Einsatz kommende Variante ist eine Kombination aus den oben vorgestellten Möglichkeiten. Die konzentrischen Kreise werden so angeordnet, dass deren Mittelpunkt mit dem Ortspunkt einer Station zusammenfällt. Zusätzlich wird das orthogonale Raster so verschoben, dass ein Rasterpunkt exakt auf diesen Ortspunkt fällt. Als Referenzgröße ergibt sich hieraus der statistische Punktniederschlag der jeweiligen gewählten Mittelpunktstation, der identisch ist mit dem statistischen Gebietsniederschlag des zugehörigen Rasterpunktes. Die Mittelpunktstationen werden so gewählt, dass die konzentrischen Kreise eine möglichst große Anzahl an Stationen überdecken und die Anzahl der Stationen möglichst gleichmäßig mit der Gebietsgröße zunimmt. Des Weiteren sollten bei den verschiedenen Mittelpunkten mit größer werdenden Gebieten unterschiedliche Regenschreiberstationen in den Randbereichen des Messnetzes berücksichtigt werden. Abbildung 6.1 veranschaulicht die Festlegung der Bezugsgröße beispielhaft.

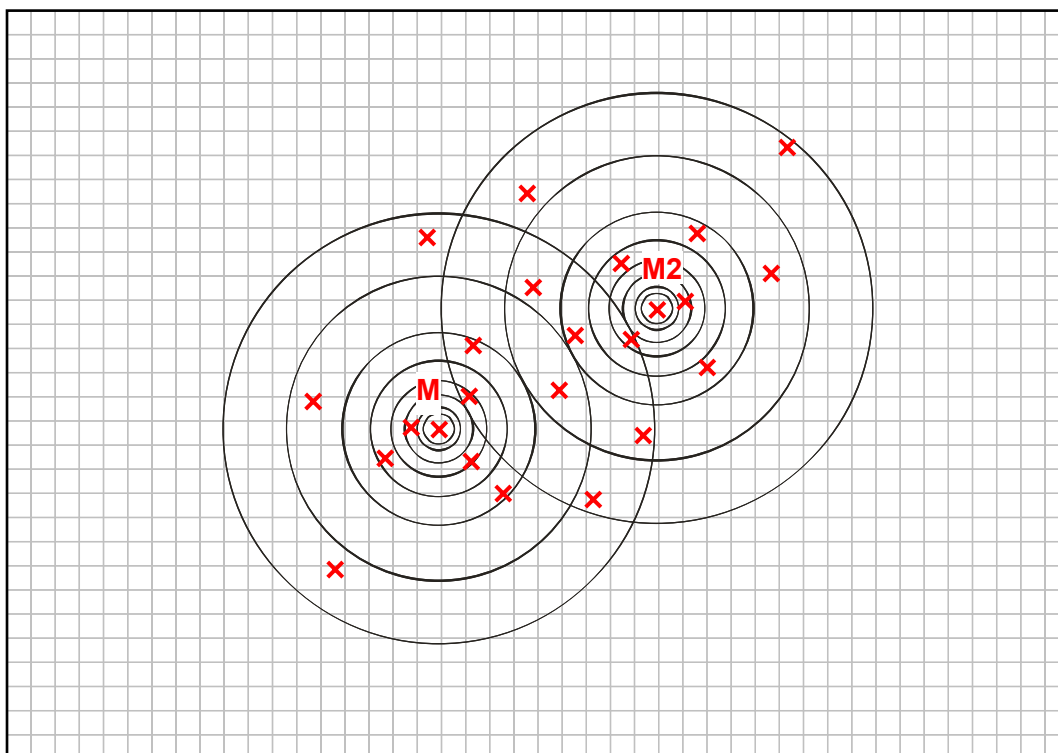


Abbildung 6.1: Festlegung der relevanten Bezugsgröße (beispielhaft)

6.2 Gewählte Mittelpunktstationen

Für die drei Regionen wurden je 6 Mittelpunktstationen festgelegt. Die gewählten Mittelpunktstationen sind in den Tabellen der verwendeten Messstationen (

Tabelle 4.1 bis Tabelle 4.3) jeweils gelb unterlegt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Anordnung der Kreisgebiete, dargestellt ist jeweils nur der größte Kreis mit 1000 km² Fläche

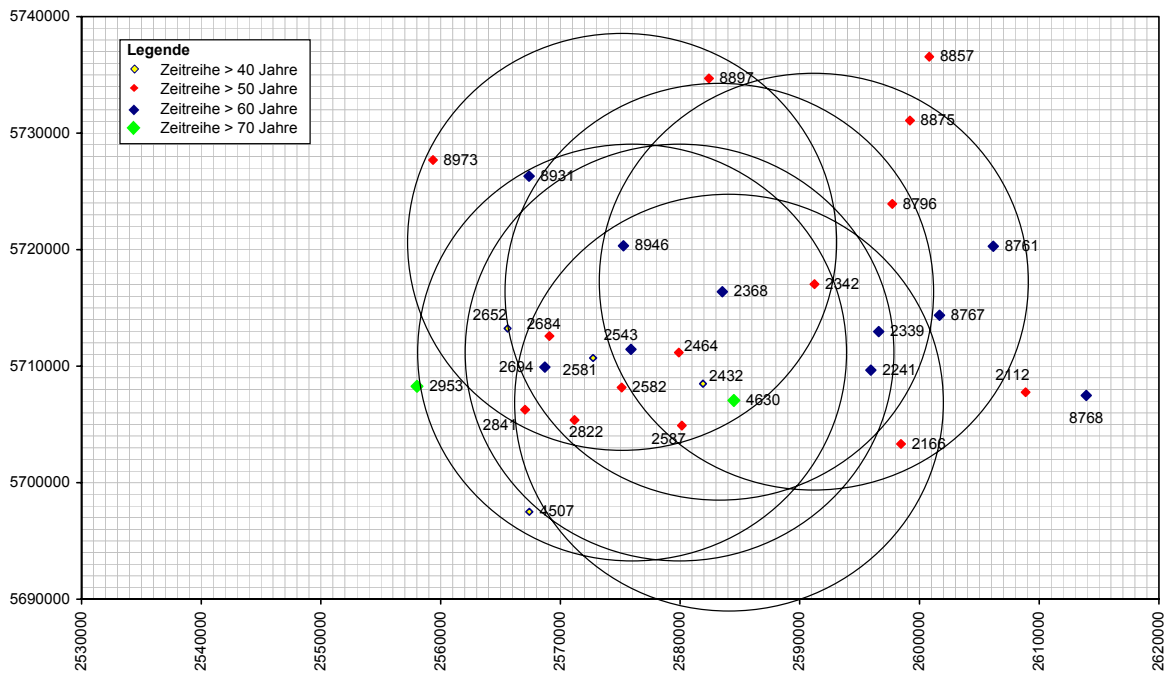


Abbildung 6.2: Gebiete in der Emscher-Region

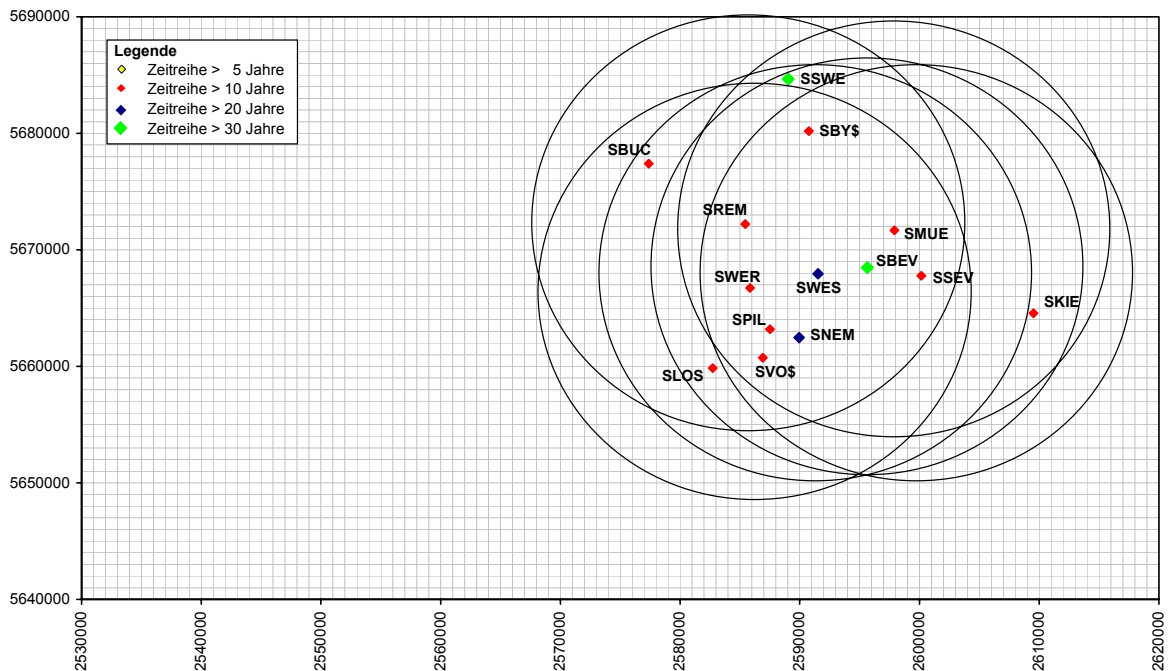


Abbildung 6.3: Gebiete in der Wupper-Region

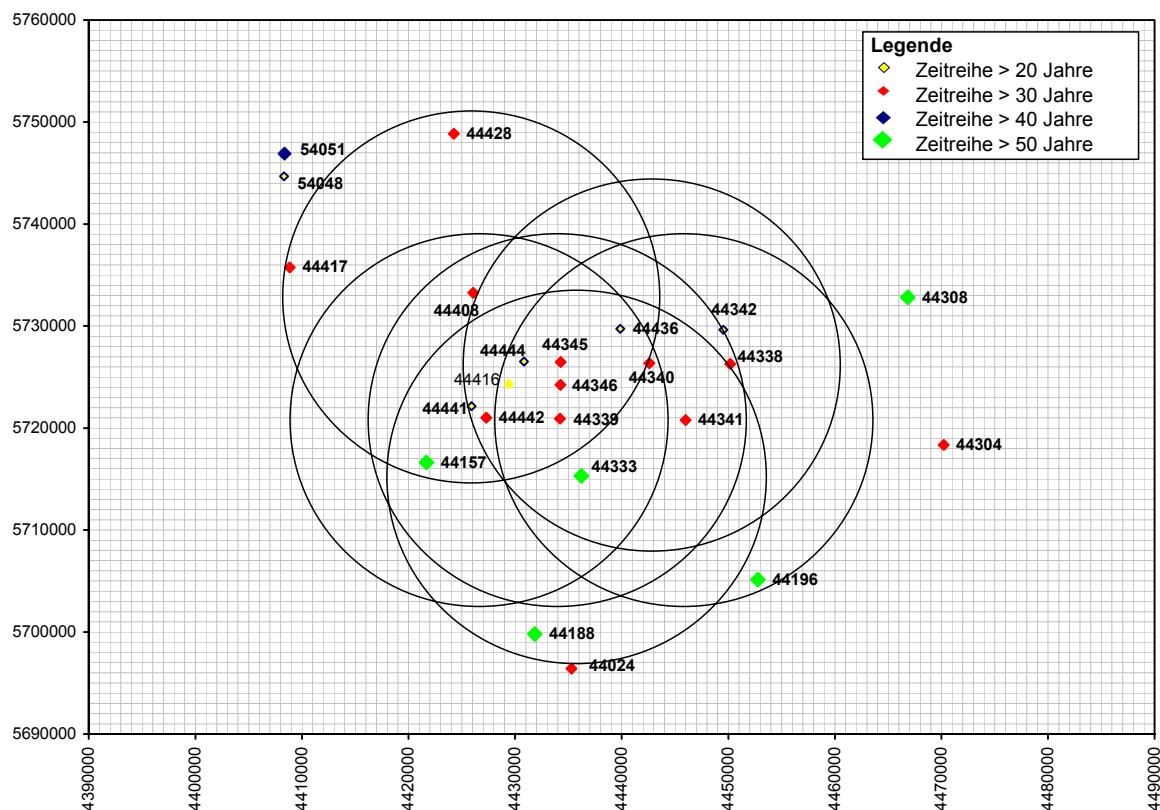


Abbildung 6.4: Gebiete im Bode-Einzugsgebiet

6.3 Festlegung relevanter Dauerstufen / Gebietsgrößen

Der Gültigkeitsbereich von Abminderungsfaktoren wird dadurch eingeschränkt, dass die kleineren Dauerstufen für große Gebiete nicht relevant sind. Es ergibt sich aufgrund der Fließzeiten im Einzugsgebiet, dass Kurzzeitniederschläge zu keiner signifikanten Abflussbildung in den größeren Gebieten führen. Durch die Zuordnung von bestimmten Dauerstufen zu den entsprechenden Gebietsgrößen werden diese Zusammenhänge berücksichtigt. Hierzu wird zunächst die zugehörige mittlere Fließzeit für jede Einzugsgebietsgröße nach folgender Gleichung ermittelt:

$$t_m \text{ [h]} = \left(\frac{l_F \text{ [m]}}{v_m \text{ [m/s]}} \right) \div 3600$$

wobei:

$$l_F \text{ [m]} = \left(2 \times \sqrt{\frac{A \text{ [km}^2\text{]}}{\pi}} \right) \times 1000$$

mit: l_F Fließweg [m]
 A Gebietsgröße [km²]
 v_m mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]

Der Fließweg l_F entspricht somit dem maximalen Fließweg innerhalb der jeweiligen Gebietsgröße (Kreisdurchmesser). Die mittlere Fließgeschwindigkeit wird im Bereich zwischen 0,5 m/s und 2,0 m/s angesetzt. Abbildung 6.5 stellt die Zusammenhänge graphisch dar.

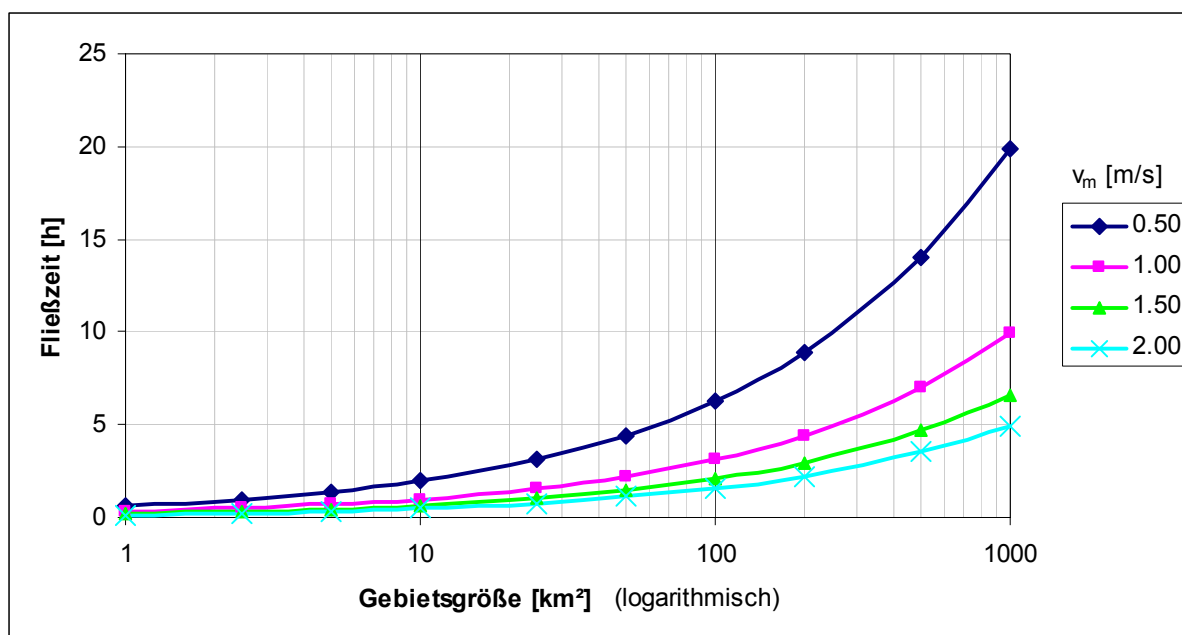


Abbildung 6.5: Fließzeiten in Abhängigkeit von Gebietsgröße und mittlerer Fließgeschwindigkeit

6.4 Ermittlung der Abminderungsfaktoren

Für die jeweils 10 Gebiete aller Mittelpunktstationen (=180 Gebiete) wurden zuerst die Zeitreihen der Gebietsniederschläge nach dem Rasterpunktverfahren erzeugt.

Für die Mittelpunktstationen und die Gebiete aller Regionen wurden dann die Punkt- und Gebietsniederschlagszeitreihen (insgesamt 18 bzw. 180 Zeitreihen) nach einheitlicher Vorgehensweise statistisch analysiert. Die Ergebnisse dieser statistischen Analyse sind statistische Punkt- und Gebietsniederschlagshöhen in Abhängigkeit von Dauer und Wiederkehrzeit: $h_N = f(D,T)$ bzw. $h_G = f(D,T)$. Damit lassen sich für jede Mittelpunktstation Abminderungsfaktoren (AMF) als Funktion von Dauer und Wiederkehrzeit ermitteln: $AMF(D,T) = h_G(D,T) / h_N(D,T)$. Für die weiteren Auswertungen wurden nicht die funktionalen Zusammenhänge, sondern jeweils die Angaben für bestimmte Kombinationen von Dauer und Wiederkehrzeit verwendet.

Als Dauerstufen wurden die KOSTRA-Stützpunkte ($D = 15 \text{ min}, 60 \text{ min}, 12 \text{ h}, 24 \text{ h}, 48 \text{ h}, 72 \text{ h}$) sowie die Dauerstufe $D = 4 \text{ h}$ gewählt. Letztere wurde hinzugenommen, um die verhältnismäßig große Lücke zwischen 60 min und 12 h zu schließen.

Bezüglich der Wiederkehrzeiten erfolgten die Auswertungen für $T = 1 \text{ a}, 2 \text{ a}, 5 \text{ a}, 10 \text{ a}, 50 \text{ a}$ und 100 a , wobei festgestellt wurde, dass keine signifikante Abhängigkeit der Abminderungsfaktoren von der Wiederkehrzeit gegeben ist. Die Ergebnisse werden daher nachfolgend nur für die Wiederkehrzeit $T = 10 \text{ a}$ dargestellt.

Alle Auswertungen wurden außerdem sowohl für das Gesamtjahr als auch für den Sommer (Mai-September) durchgeführt und jeweils unter Verwendung der partiellen und der jährlichen Serien. Zwischen diesen Varianten waren jedoch keine signifikanten Unterschiede festzustellen, so dass für die weiteren Auswertungen grundsätzlich die Ergebnisse der jährlichen Serien für das Gesamtjahr verwendet wurden.

Bevor allgemein gültige Abminderungsfaktoren abgeleitet wurden, wurde die Auswertung zunächst regionsweise vorgenommen. Aus den berechneten Abminderungen für die 6 Mittelpunktstationen wurde der arithmetische Mittelwert gewonnen, so dass regionsspezifische Abminderungsfaktoren vorliegen. Abschließend wurden diese 3 Werte erneut gemittelt. Die so erhaltenen Abminderungsfaktoren sind dann nur noch von der Dauerstufe und Gebietsgröße abhängig.

Nachfolgend sind zunächst die Ergebnisse für jede Region und dann die zusammengefassten Erkenntnisse dargestellt.

6.5 Ergebnisse der Regionen

Beispielhaft sind in Abbildung 6.6, Abbildung 6.8 und Abbildung 6.10 die durch Linien verbundenen Abminderungsfaktoren für alle Gebietsgrößen und 7 bzw. 6 Dauerstufen für jeweils eine der pro Region verwendeten Mittelpunktstation dargestellt. Die keineswegs einheitliche Abnahme der Abminderungsfaktoren zeigt sich bei fast allen Mittelpunktstationen, die Verläufe unterscheiden sich aber deutlich und zeigen keine signifikanten Muster. Die Unregelmäßigkeiten und Unterschiede sind darauf zurückzuführen, dass jeweils die Besonderheiten der in die Berechnung eingehenden Zeitreihen durchschlagen, insbesondere Größe und Häufigkeit der Extremwerte.

Bei den Mittelungen der Ergebnisse über alle Mittelpunktstationen verschwinden diese Unregelmäßigkeiten weitgehend und es ergeben sich glattere Verläufe (siehe Abbildung 6.7, Abbildung 6.9 und Abbildung 6.11).

Nachfolgend wird auf die Besonderheiten der Ergebnisse der Regionen kurz eingegangen.

6.5.1 Emscher

Die Ergebnisse aus der Emscherregion sind am wenigstens durch Unregelmäßigkeiten verzerrt, da hier die größte Anzahl an Stationen für die Gebietsmittelberechnungen vorlag. Dennoch sind besonders die Verläufe der kürzeren Dauerstufen nicht „glatt“: die Abminderungsfaktoren nehmen nicht gleichmäßig ab.

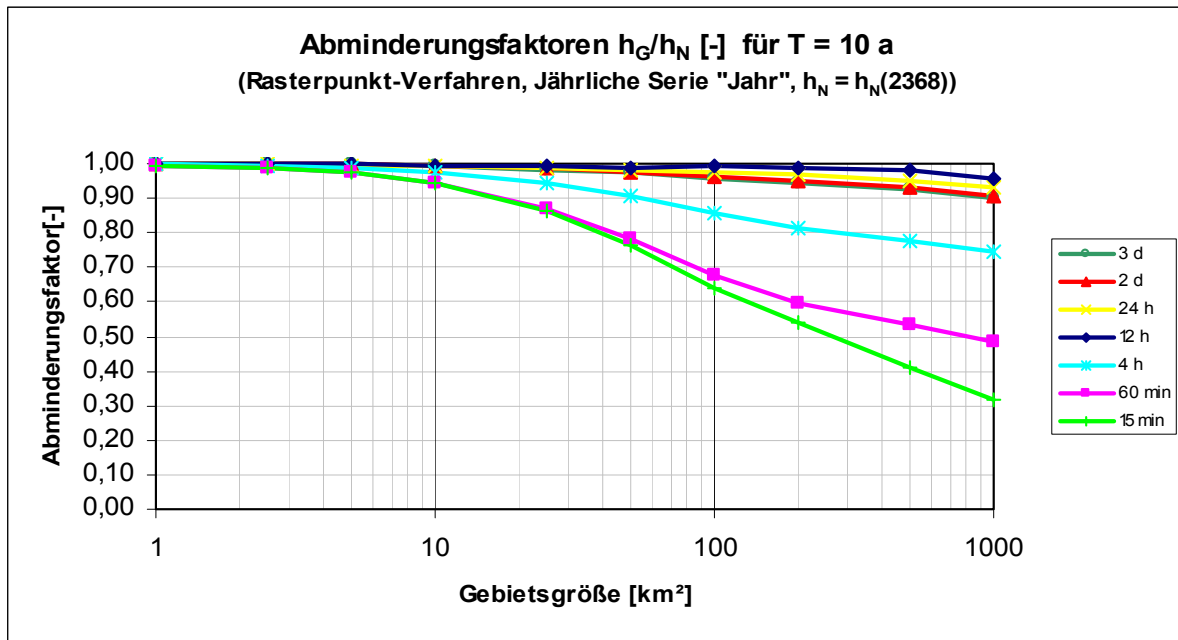


Abbildung 6.6: Abminderungsfaktoren für die Mittelpunktstation 2368

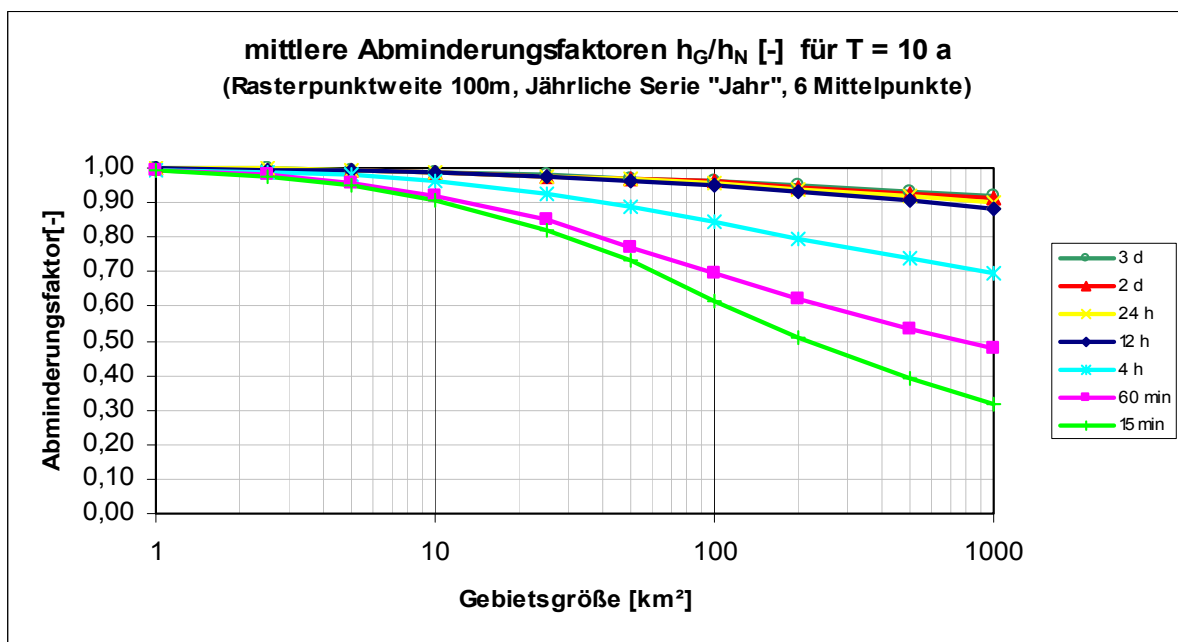


Abbildung 6.7: Mittlere Abminderungsfaktoren für die Emscher-Region

6.5.2 Wupper

Bei den Stationen der Wupper-Region macht sich deutlich bemerkbar, dass die Gebietniederschläge aus einer geringen Anzahl von Stationen berechnet wurden, die zudem noch sehr ungleichmäßig verteilt sind. Sehr deutlich wird das in Abbildung 6.8 für die Dauerstufe 60 min, bei der die Abminderungsfaktoren mit zunehmender Gebietsgröße nach anfänglichem Abfall wieder ansteigen.

Die mittleren Werte der Region verlaufen dagegen relativ glatt und ähneln denen der Em-scher-Region.

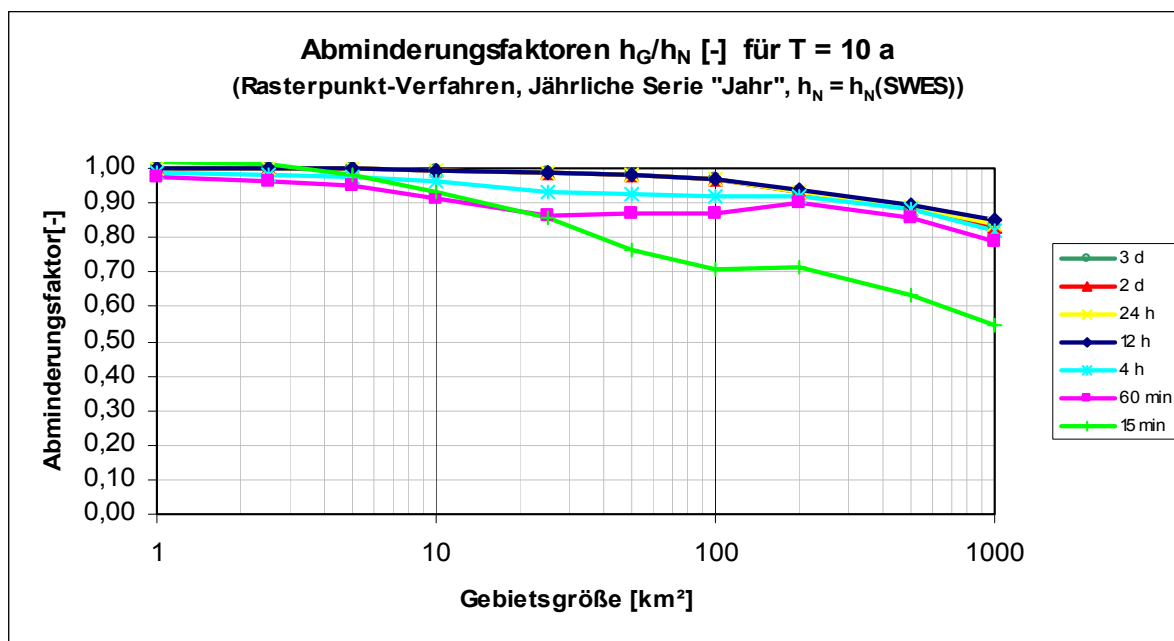


Abbildung 6.8: Abminderungsfaktoren für die Mittelpunktstation SWES

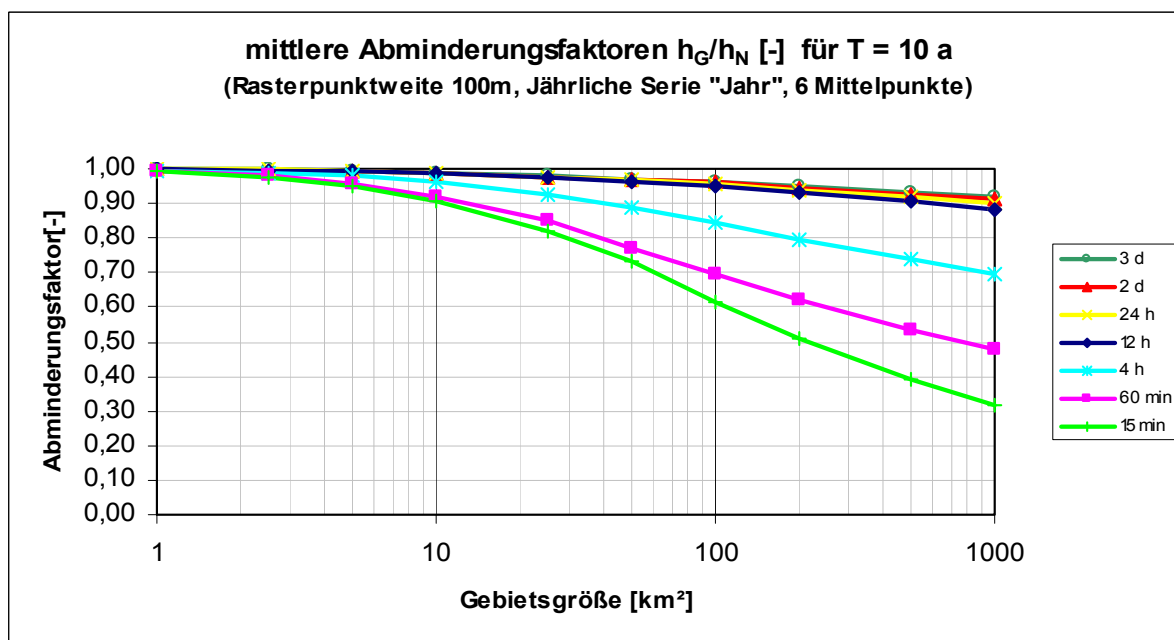


Abbildung 6.9: Mittlere Abminderungsfaktoren für die Wupper-Region

6.5.3 Bode

Für das Gebiet der Bode konnten wegen der Tageswertzeitreihen nur die Dauerstufen von 24h (streng genommen: 1d, da die Anfangszeitpunkte des 24h-Zeitraums immer die gleichen sind) bis 7d untersucht werden. Auch hier zeigen die Ergebnisse der einzelnen Mittelpunktstationen Unregelmäßigkeiten, die bei der Mittelung über die Ergebnisse der 6 Mittelpunktstationen ausgeglichen werden. Für die weitere Zusammenfassung werden nur die Werte bis zur Dauerstufe D=3d verwendet.

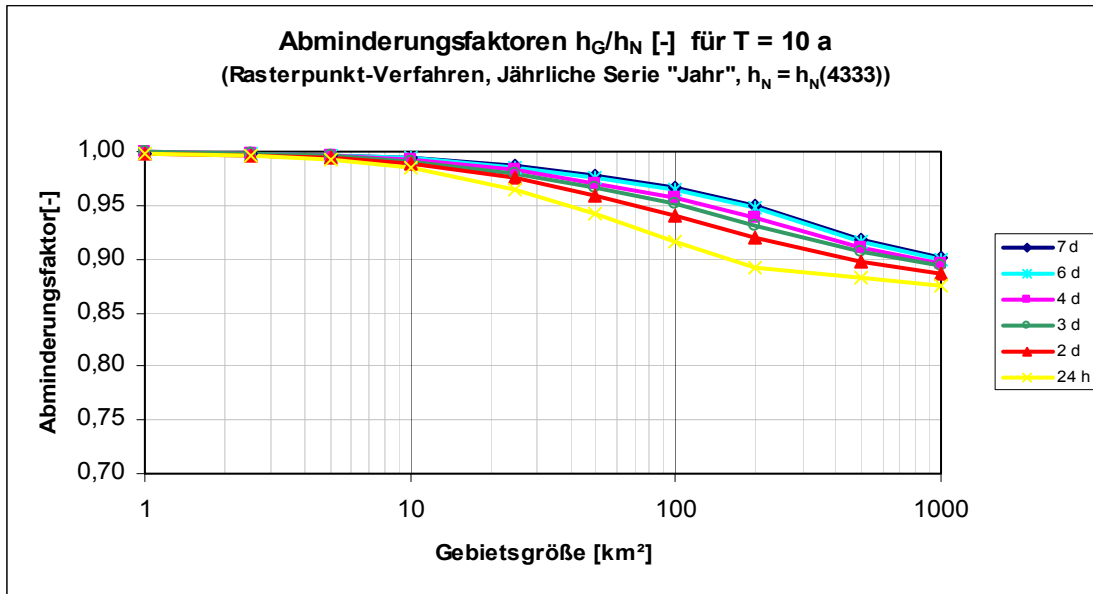


Abbildung 6.10: Abminderungsfaktoren für die Mittelpunktstation 4333

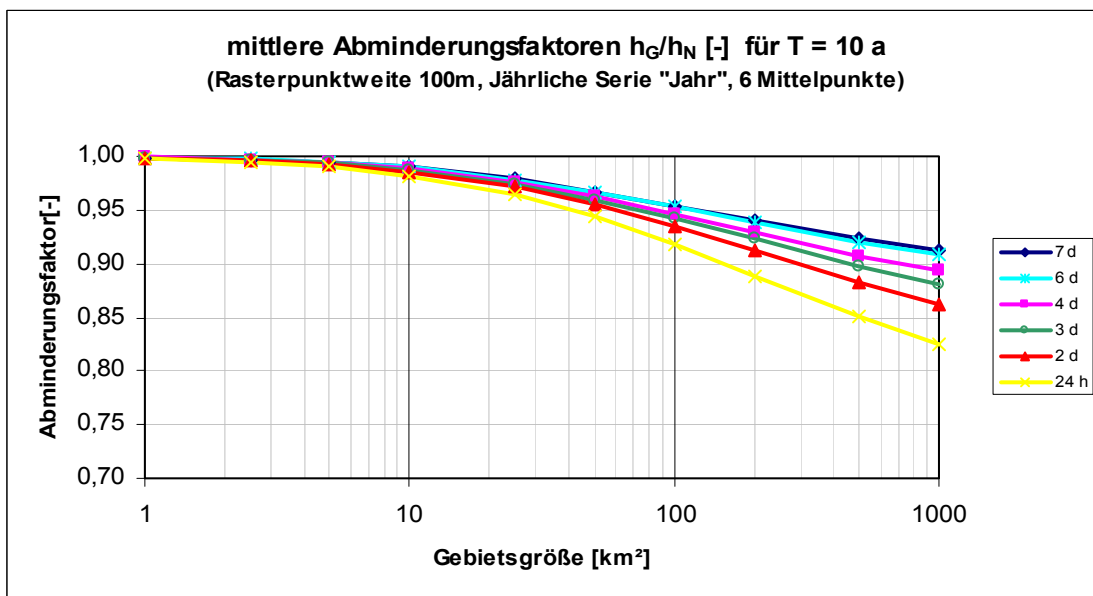


Abbildung 6.11: Mittlere Abminderungsfaktoren für das Bode-Gebiet

6.6 Regionsübergreifende Abminderungsfaktoren

Für regionsübergreifende, allgemeine Aussagen wurden die Ergebnisse aller drei Regionen zusammengefasst. Abbildung 6.12 zeigt die mittleren Abminderungsfaktoren für die drei Dauerstufen von 24h bis 3d, für die in allen drei Regionen Ergebnisse vorhanden sind.

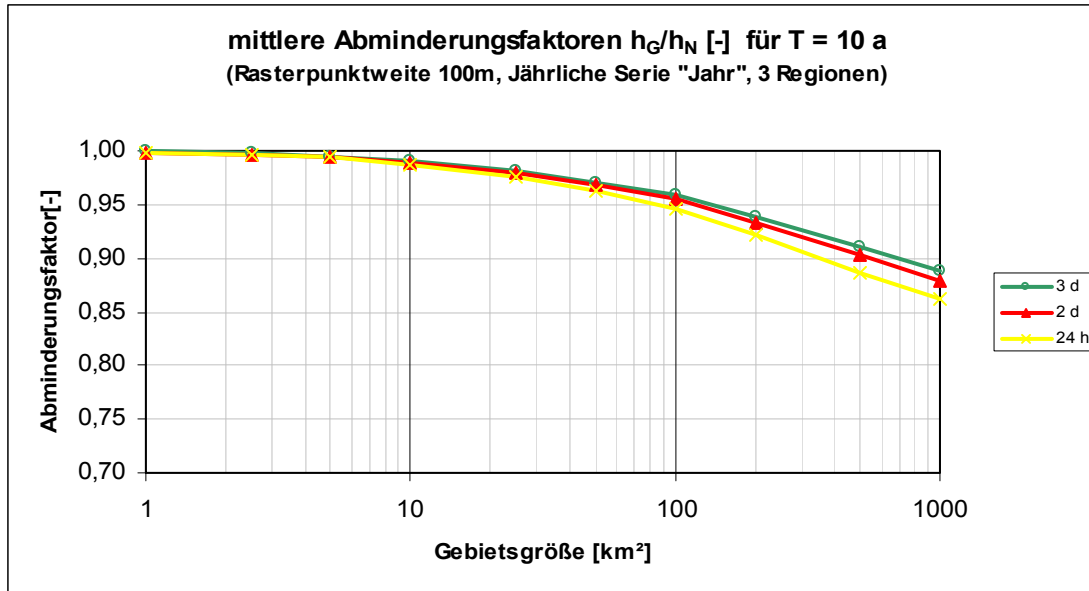


Abbildung 6.12: Regionsübergreifende mittlere Abminderungsfaktoren für Tageswerte

Mittlere Abminderungsfaktoren für alle untersuchten Dauerstufen sind in Abbildung 6.13 dargestellt. Die Angaben bis 12h konnten nur aus den Regionen von Emscher und Wupper gemittelt werden, in den größeren Dauerstufen sind auch die Werte des Bodegebiets berücksichtigt.

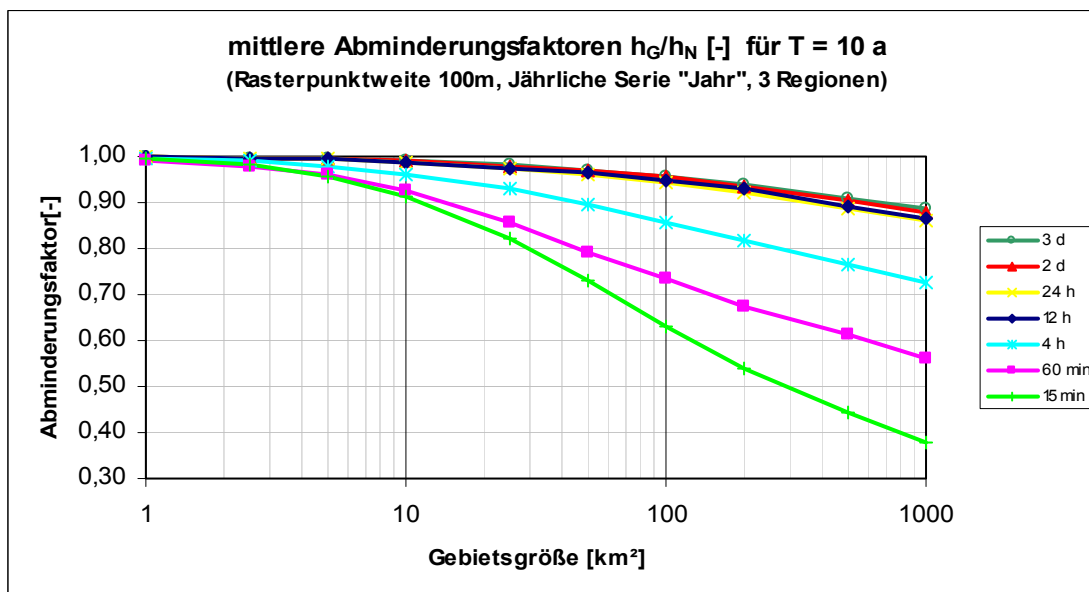


Abbildung 6.13: Regionsübergreifende mittlere Abminderungsfaktoren für alle Dauerstufen

6.7 Ableitung einer allgemein gültigen Abminderungsfunktion

Wie schon in Kapitel 6.3 ausgeführt, sind nicht alle Dauerstufen für alle Gebietsgrößen relevant. In Abbildung 6.14 sind - ausgehend von Abbildung 6.13 – nur Teilstücke der Abminderungskurven angegeben, und zwar nur diejenigen Bereiche, die für die jeweiligen Gebietsgrößen als relevant erachtet werden. Es wird deutlich, dass die Abminderungsfaktoren mit zunehmender Gebietsgröße im Mittel gleichmäßig abnehmen. Werden die Kurven noch gekürzt, und zwar für die Dauerstufen bis 6h um die jeweils unteren Werte, so wird der Bereich noch enger.

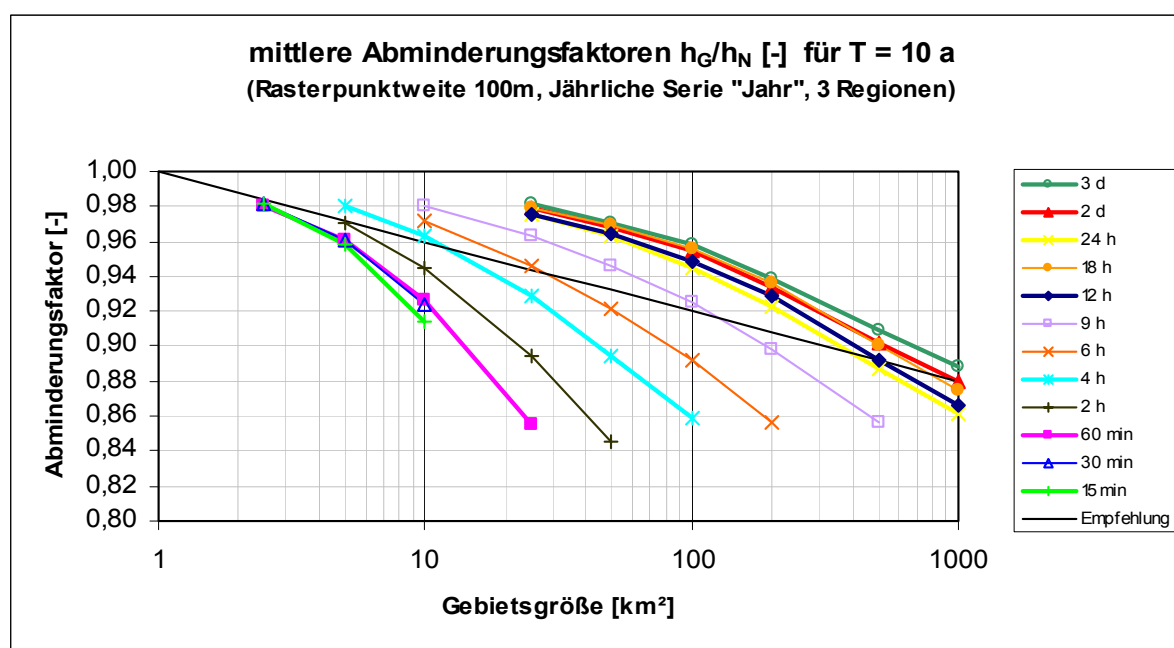


Abbildung 6.14: Mittlere Abminderungsfaktoren für ausgewählte Bereiche von Dauer und Gebietsgröße

Da die Abminderungsfaktoren alle in einem verhältnismäßig engen Bereich liegen, wird nur eine Beziehung zwischen Abminderungsfaktor und Gebietsgröße erstellt, die unabhängig von der Dauerstufe verwendet werden kann. Hierzu wurden für jede Gebietsgröße maximal 3 relevante Dauerstufen festgelegt. Diese sind in Tabelle 6.1 angegeben.

Tabelle 6.1: Relevante Dauerstufen für die Gebietsgrößen

A [km²]	2,5	5	10	25	50	100	200	500	1000
Dauer D	15'	30'	60'	4 h	4 h	6 h	9 h	24 h	2 d
			4 h	6 h	6 h	12 h	12 h	2 d	3 d
					12 h		24 h		

Für jede Gebietsgröße wurden nun aus allen Ergebnissen für diese Kombinationen minimaler, maximaler und mittlerer Abminderungsfaktor berechnet. Durch diese Bereiche – unter besonderer Berücksichtigung der Mittelwerte – wurde dann eine Ausgleichsgerade gelegt, die sich zu

$$AMF = 1 - 0,04 \cdot \log A$$

mit $A = \text{Gebietsgröße in km}^2$
und $AMF = \text{Abminderungsfaktor}$

ergab. Die Mittelwerte und Wertebereiche für die Gebietsgrößen und die empfohlene Abminderungsfunktion sind in Abbildung 6.15 dargestellt. Bis zu der Gebietsgröße von 1000 km² ergeben sich also Abminderungsfaktoren zwischen 1,0 und 0,88.

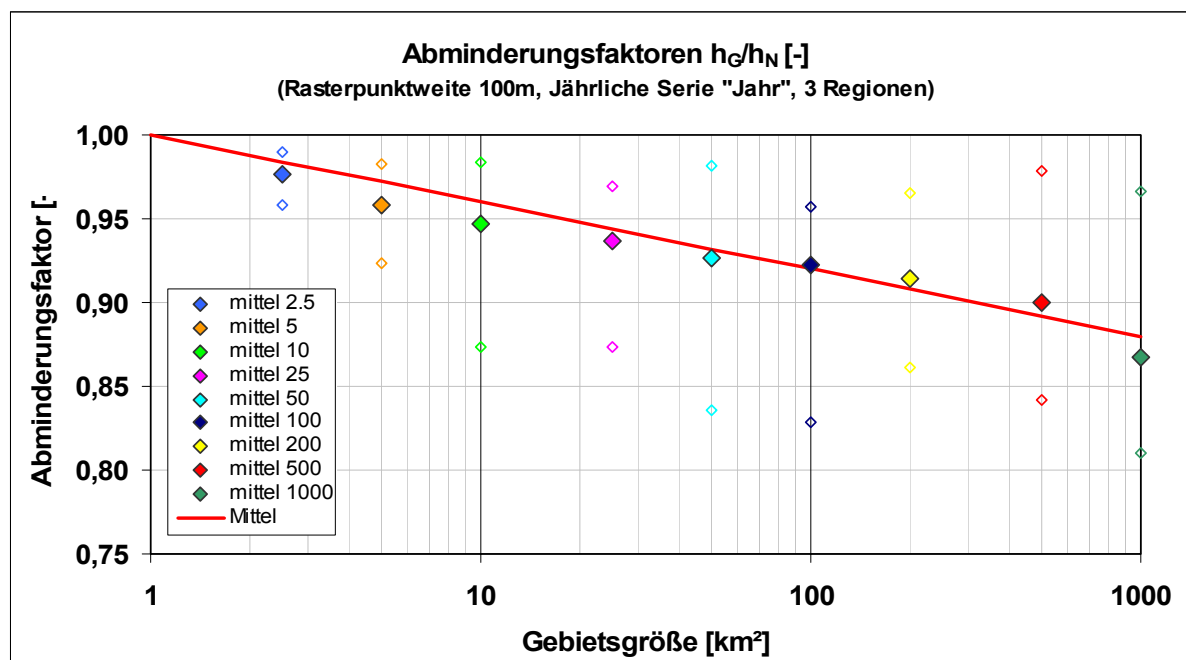


Abbildung 6.15: Mittlere Abminderungsfaktoren aus Gebietsgrößen-relevanten Dauerstufen und zugehörige Wertebereiche

Auch wenn die Abminderungsfaktoren relativ klein sind und die Abweichungen für verschiedene Dauerstufen gering sind, kann die vereinfachte Beziehung den Verhältnissen nur gerecht werden, wenn nur die in Tabelle 6.1 angegebenen Kombinationen von Dauer und Gebietsgröße verwendet werden. Sind dagegen auch weitere Kombinationen von Gebietsgröße und Dauerstufe von Interesse, sollte der Einfluss der Dauer gesondert berücksichtigt werden. Hierzu ist aus allen Ergebnissen das in Abbildung 6.16 dargestellte Nomogramm entwickelt worden. Im linken Bereich ist die vereinfachte Beziehung aus Abbildung 6.15 dargestellt. Ausgehend von einer Gebietsgröße (im Beispiel 25 km²) ergibt sich auf der linken Seite der zugehörige mittlere Abminderungsfaktor (roter Pfeil, im Beispiel $AMF = 0,944$). Wenn zusätzlich die Dauerstufe berücksichtigt werden soll, kann – ausgehend vom mittleren Abminderungsfaktor – im rechten Teil am Schnittpunkt mit der entsprechenden Dauerstufenkurve der dauerstufenabhängige Abminderungsfaktor ermittelt werden. Im Beispiel ergibt sich für $D = 30$ min ein Wert von 0,86 und für $D = 12$ h ein Wert von 0,97.

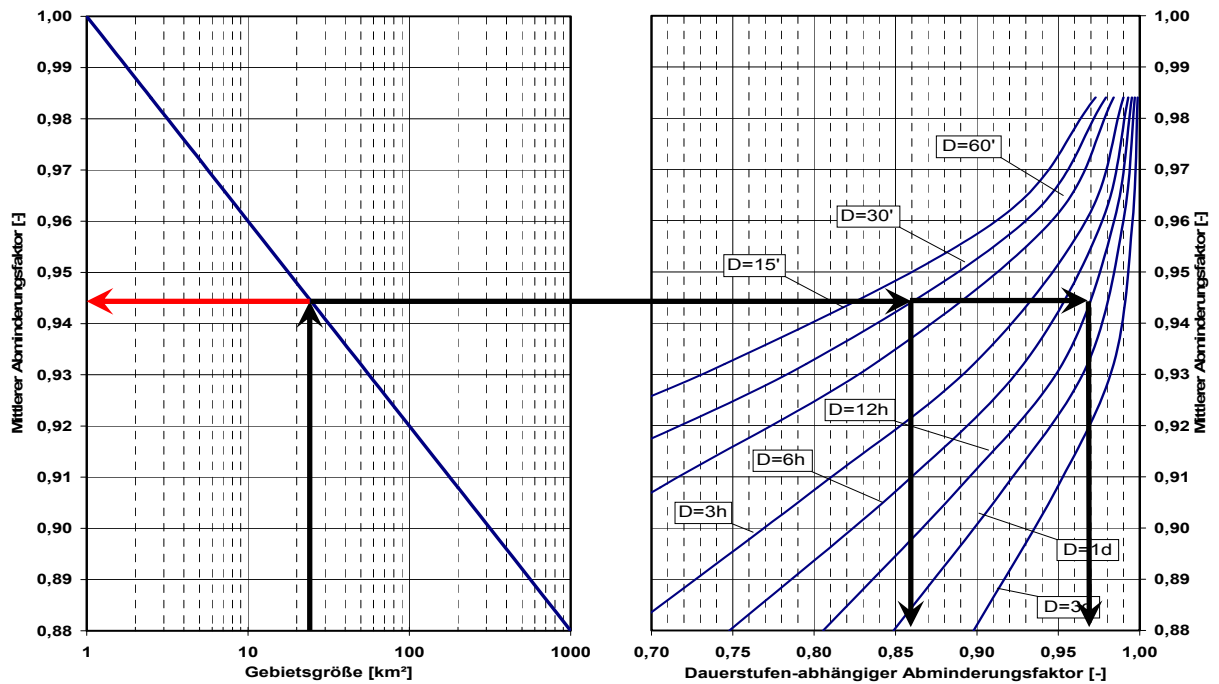


Abbildung 6.16: Nomogramm zur Ermittlung des Abminderungsfaktors aus Gebietsgröße und Dauerstufe (mit Ablesebeispiel)

6.8 Vergleich mit Ergebnissen aus bisherigen Untersuchungen

Die aus dem Nomogramm (Abbildung 6.16) ermittelten FLAMINKO-Abminderungsfaktoren sind in Abbildung 6.17 mit den Ergebnissen aus Kapitel 2 vergleichend für die Gebietsgrößen von 25 km² bis 100 km² dargestellt.

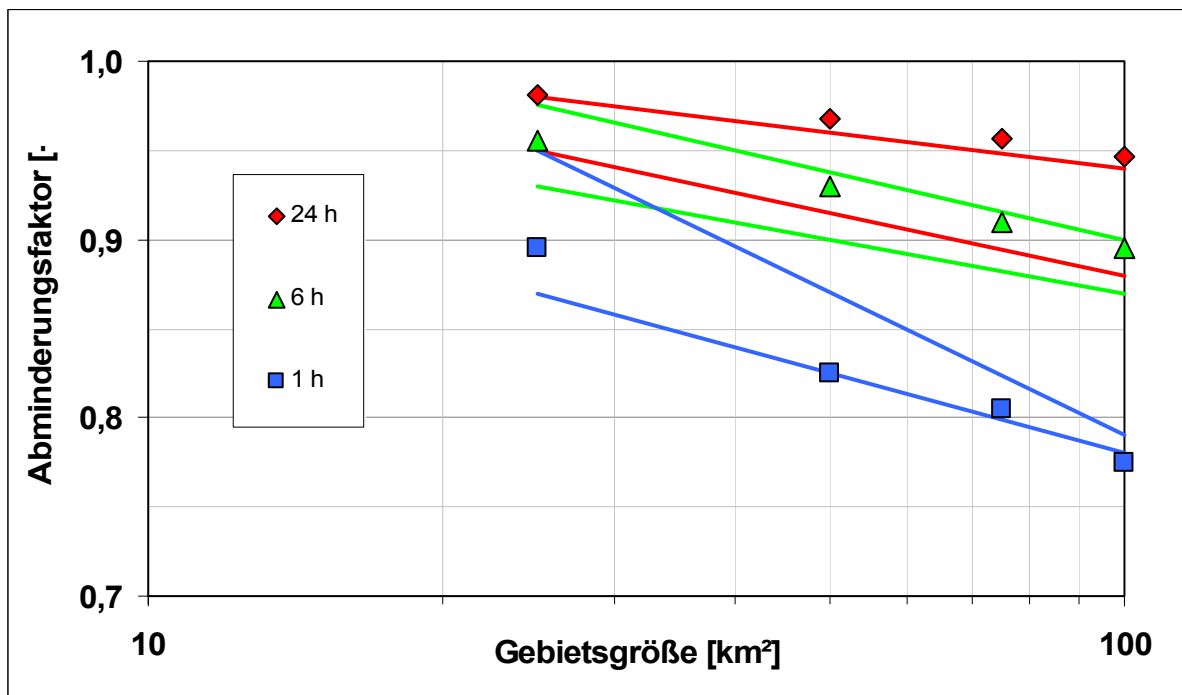


Abbildung 6.17: Abminderungsfaktoren h_G/h_N [-]: Bereiche der Literaturwerte (Linien) und FLAMINKO-Werte (Symbole) aus Abbildung 7.2

Es wird deutlich, dass die FLAMINKO-Werte in der gleichen Größenordnung liegen wie die Werte aus der Literatur, wobei die Werte für $D = 1\text{h}$ mehr an der unteren Grenze des Bereichs liegen, also eher zu größeren Abminderungen tendieren, während bei der Dauerstufe $D = 24\text{h}$ die Werte an der oberen Bereichsgrenze liegen, die Abminderungsfaktoren also eher kleiner ausfallen als in der Literatur.

7 Empfehlungen für die praktische Anwendung

Bei der Unsicherheitsbandbreite der statistischen Werte ist grundsätzlich zu überlegen, ob eine Abminderung in einer Größenordnung bis 12% sinnvoll ist, wenn die Toleranz der statistischen Werte schon 20% beträgt. Wenn aber eine Abminderung angesetzt werden soll, so kann je nach Zielsetzung zur Ermittlung der abgeminderten statistischen Werte auf verschiedene Weise vorgegangen werden.

7.1 Abminderung ohne Berücksichtigung der Dauerstufen

Der vereinfachte funktionale Zusammenhang zwischen Abminderung und Flächengröße wird als zulässige Näherung angesehen. Die Varianz der Abminderungsfaktoren mit der Dauer ist zwar prinzipiell vorhanden, ist aber auf Grund der Streuung der Ergebnisse mit Unsicherheiten belastet. Wird der vereinfachte funktionale Zusammenhang verwendet, so kann entweder die Formel für den Abminderungsfaktor AMF

$$\text{AMF} = 1 - 0,04 \cdot \log A \quad \text{mit} \quad A = \text{Gebietsgröße in km}^2$$

verwendet werden oder der linke Teil des Nomogramms in Abbildung 7.2. Diese Vorgehensweise ist immer dann sinnvoll, wenn nur die Werte für eine oder wenige Dauerstufen interessieren und die Dauerstufen für die Gebietsgröße in dem in ABB angegebenen Bereich liegen. Für die durch die mittlere Kurve gekennzeichneten Dauer-Gebietsgröße-Kombinationen ergeben sich bei Verwendung des Nomogramms in ABB die gleichen Abminderungsfaktoren wie aus der einfachen Abminderungsbeziehung.

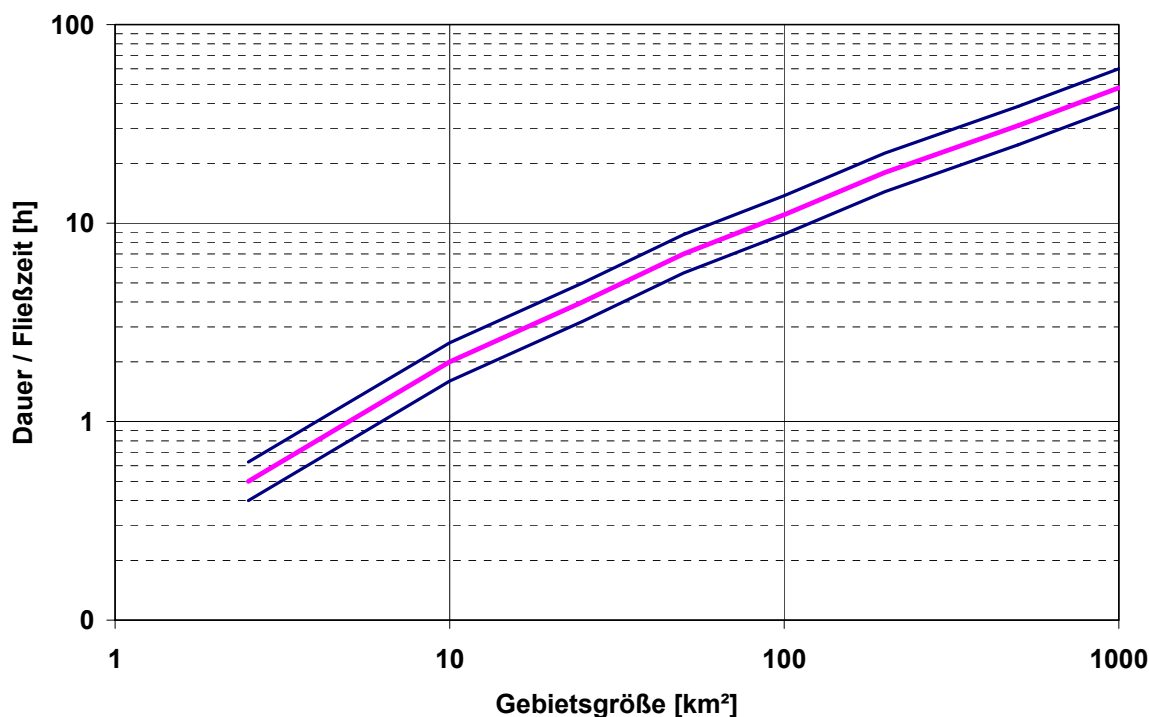


Abbildung 7.1: Anwendungsbereich der einfachen Abminderungsbeziehung

7.2 Abminderung unter Berücksichtigung der Dauer

Weichen die zu berücksichtigenden Dauern stark von dem in ABB dargestellten Bereich ab oder sollen intensitätsvariante Bemessungsregen erstellt werden, sind Angaben für einen größeren Bereich der Dauerstufen erforderlich. In diesem Fall sollte der Einfluss der Dauer berücksichtigt werden, indem auch der rechte Teil des Nomogramms in Abbildung 7.2 verwendet wird und so für alle interessierenden Dauerstufen die Abminderungsfaktoren ermittelt werden. Die Anwendung des Nomogramms ist in Abbildung 6.16 auf Seite 37 erläutert.

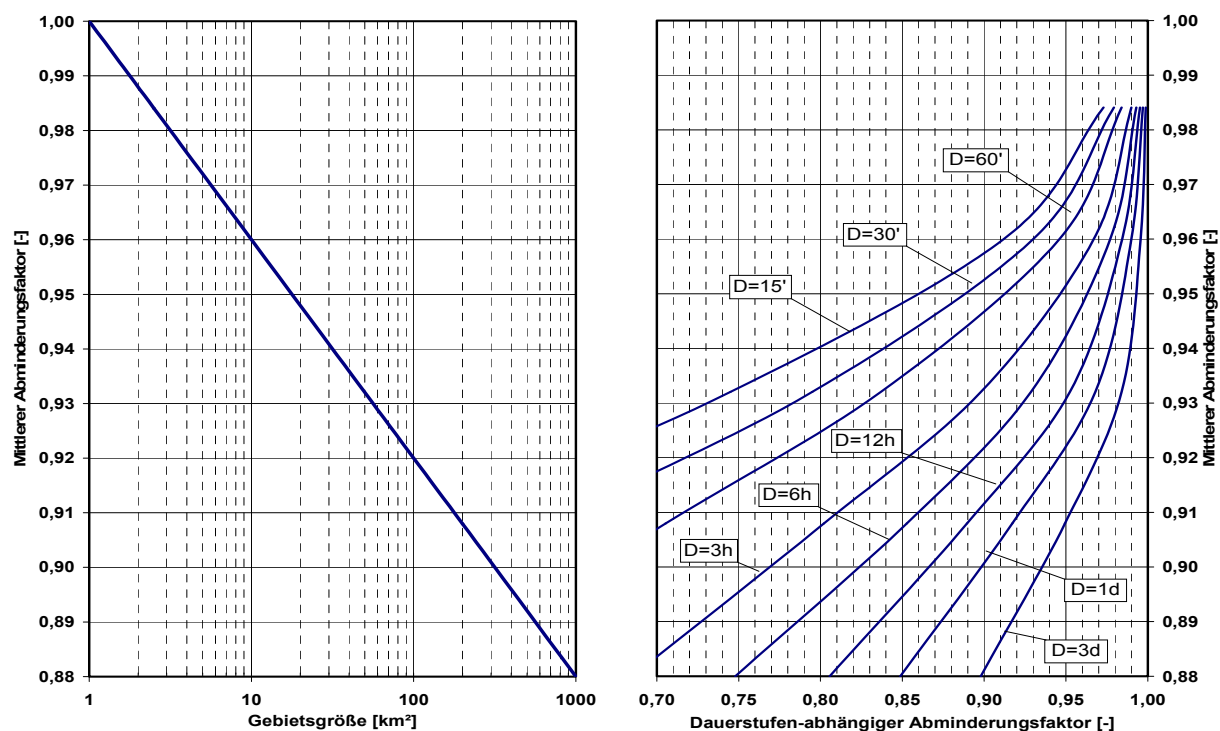


Abbildung 7.2: Nomogramm zur Ermittlung des Abminderungsfaktors aus Gebietsgröße und Dauerstufe

Da in den meisten Fällen eine Gebietsgröße vorliegt, für die dann die Abminderungsfaktoren für alle Dauerstufen ermittelt werden müssen, wurden die in Abbildung 7.2 dargestellten Zusammenhänge als Abminderungsfaktor in Abhängigkeit von der Dauerstufe mit der Gebietsgröße als Kurvenparameter in Abbildung 7.3 dargestellt.

Für 5 ausgewählte Flächengrößen von 2,5 bis 1000 km² können die für jede Dauerstufe gültigen Abminderungsfaktoren direkt abgelesen werden. Für andere Flächengrößen müssen interpolierte Kurven eingetragen werden, an denen dann die Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit von der Dauerstufe abgelesen werden können. Abbildung 7.2 und Abbildung 7.3 liefern die gleichen Werte.

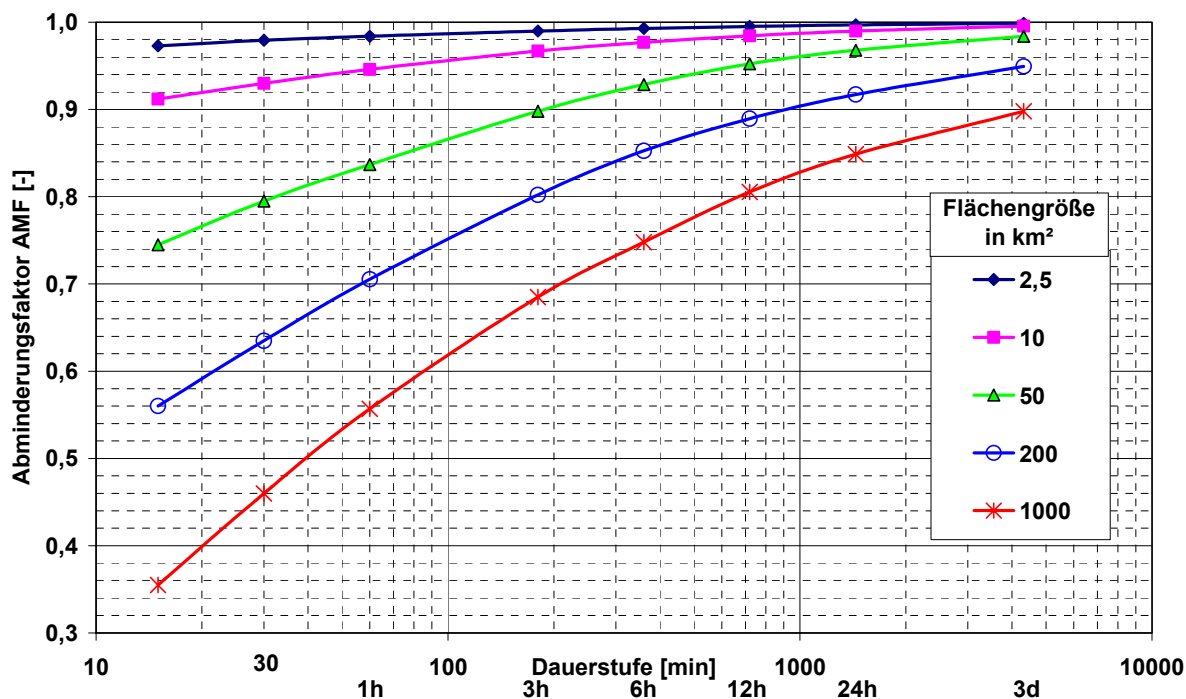


Abbildung 7.3: Ermittlung des Abminderungsfaktors in Abhängigkeit der Dauerstufe mit der Flächengröße als Kurvenparameter

7.3 Anwendungsbeispiel

Werden als Grundlage für die Festlegung von statistischen Gebietsniederschlagswerten die Angaben aus KOSTRA verwendet, so sollte die Mittelwertbildung in KOSTRA-DWD 2000 (DWD/ITWH, 2005) verwendet werden. Hierzu werden alle in das Gebiet fallenden KOSTRA-Rasterfelder markiert, das Programm liefert dann für jede Dauerstufe die aus allen Rasterfeldern gemittelten Werte und erstellt auch eine entsprechende Tabelle. Tabelle 7.1 zeigt die Ergebnisse aus KOSTRA für die Fläche von 7 ausgewählten Rasterfeldern im Sauerland. Da die Rasterfelder in KOSTRA eine Größe von ca. 72 km² haben, ergibt sich eine Gebietsgröße von ca. 500 km².

Die in Tabelle 7.1 enthaltenen Werte stellen trotz der Mittelung über ein Gebiet statistische Punkt-Niederschläge dar. Wenn hieraus Bemessungsregen als Gebietsniederschläge generiert werden sollen, so können entweder alle Werte mit dem mittleren Abminderungsfaktor für das Gebiet multipliziert werden, oder es kann für alle Dauerstufen der jeweils gültige Abminderungsfaktor aus dem Nomogramm in Abbildung 7.2 verwendet werden. Innerhalb einer Dauerstufe wird der abgelesene Abminderungsfaktor unabhängig von der Wiederkehrzeit für alle Werte angewandt, da die Varianz mit der Wiederkehrzeit als nicht signifikant angesehen wird.

Tabelle 7.1: Mittlere KOSTRA-Werte für ein Beispielgebiet
Niederschlagshöhen und Spenden
Zeitspanne: Januar – Dezember

Gruppenwerte für die Rasterfelder							
Zeile	48	48	49	49	49	50	50
Spalte	19	20	18	19	20	18	19

T[a]	1		5		10		50		100	
D	h_N	r_N	h_N	r_N	h_N	r_N	h_N	r_N	h_N	r_N
15'	10,4	116	17,7	197	20,9	232	28,2	314	31,4	349
30'	14,0	78,0	23,9	133	28,1	156	37,9	211	42,1	234
45'	15,9	58,8	27,5	102	32,5	121	44,2	164	49,2	182
60'	17,0	47,2	30,1	83,7	35,8	99,4	48,9	136	54,6	152
90'	18,8	34,7	32,3	59,9	38,2	70,7	51,8	95,9	57,6	107
2 h	20,1	27,9	34,0	47,3	40,0	55,6	53,9	74,9	59,9	83,2
3 h	22,2	20,6	36,6	33,9	42,8	39,6	57,1	52,9	63,3	58,6
4 h	23,8	16,5	38,5	26,7	44,8	31,1	59,6	41,4	65,9	45,8
6 h	26,3	12,2	41,5	19,2	48,0	22,2	63,2	29,3	69,8	32,3
9 h	29,0	9,0	44,7	13,8	51,5	15,9	67,2	20,7	73,9	22,8
12 h	31,1	7,2	47,2	10,9	54,1	12,5	70,2	16,2	77,1	17,8
18 h	34,5	5,3	52,9	8,2	60,8	9,4	79,2	12,2	87,1	13,4
24 h	37,9	4,4	58,6	6,8	67,5	7,8	88,2	10,2	97,1	11,2
48 h	50,0	2,9	71,0	4,1	80,0	4,6	101	5,8	110	6,4
72 h	54,3	2,1	77,3	3,0	87,2	3,4	110	4,2	120	4,6

In Tabelle 7.2 sind neben den Werten aus Tabelle 7.1 für die Wiederkehrzeit $T = 10a$ auch die für jede Dauerstufe gültigen Abminderungsfaktoren (aus Abbildung 7.2 bzw. Abbildung 7.3 entnommen) sowie die sich daraus ergebenden abgeminderten Gebietsniederschlagswerte angegeben. Bei Anwendung der einfachen Abminderungsfunktion ergibt sich für alle Dauerstufen ein Abminderungsfaktor von 0,892.

Tabelle 7.2: Punkt- und Gebietsniederschläge $T=10a$ für das in Tabelle 7.1 angegebene Gebiet

D	Punkt- h_N	Abminderungsfaktor	Gebiets- h_N
15'	20,9	0,440	9,2
30'	28,1	0,540	15,2
45'	32,5	0,590	19,2
60'	35,8	0,620	22,2
90'	38,2	0,665	25,4
2 h	40,0	0,695	27,8
3 h	42,8	0,730	31,2
4 h	44,8	0,755	33,8
6 h	48,0	0,795	38,2
9 h	51,5	0,825	42,5
12 h	54,1	0,840	45,4
18 h	60,8	0,862	52,4
24 h	67,5	0,880	59,4
48 h	80,0	0,905	72,4
72 h	87,2	0,920	80,2

8 Literaturverzeichnis

- ALLEN, R. J., DEGAETANO, A. T. (2005): Areal Reduction Factors for Two Eastern United States Regions with High Rain-Gauge Density. *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE*. July/August 2005, pp 327-335.
- ATV (1985): Niederschlag – Starkniederschlagshöhen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer. ATV-Arbeitsblatt A121.
- BARTELS, H.; MALITZ, G.; ASMUS, S.; ALBRECHT, F. M.; DIETZER, B.; GÜNTHER, T.; ERTEL, H. (1997): KOSTRA – Starkniederschlagshöhen für Deutschland. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- CLARK COUNTY REGIONAL FLOOD CONTROL DISTRICT (1999): Hydrological Criteria and Drainage Design Manual. <<http://www.ccrfcd.org/hcddm.htm>>
- DE MICHELE, C.; NATHABANDU, T.; KOTTEGODA, T.; ROSSO, R. (2001): The derivation of areal reduction factor of storm rainfall from its scaling properties. *Water Resources Research*, Vol. 37, No. 12, pp 3247-3252. American Geophysical Union.
- DEUTSCHES IHP/OHP-NATIONALKOMITEE (Hrsg.) (1993): Meteorologische Systeme für hydrologische Anwendungen. IHP/OHP-Berichte, Heft 9. Koblenz.
- DIN 4049. Hydrologie. Teil 1 Grundbegriffe (1992), Teil 2 Begriffe der Gewässerbeschaffenheit (1990), Teil 3 Begriffe zur quantitativen Hydrologie (1994). Deutsche Normen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1996.
- DISSE, M. (2004): Auswertung der Niederschlagsmessung. Hydrologie I (Skript), Kap. 5.4. <http://www.bauv.unibw-muenchen.de/institute/inst6_2/Lehre/Vorlesungsunterlagen/Hydrologie_I/Niederschlag.pdf> (Juni 2004).
- DOBLER, L. (1999): Der Einfluss der Bergbaugeschichte im Ostharz auf die Schwermetalltiefengradienten in historischen Sedimenten und die fluviale Schwermetalldispersion in den Einzugsgebieten von Bode und Selke im Harz. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doctor rerum naturalium (Dr. rer. Nat.). Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät (mathematisch-naturwissenschaftlicher Bereich) der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- DVWK (1984): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten – Teil II: Synthese. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 113, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- DVWK (1985): DVWK Regeln 124 / 1985. Niederschlag – Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer. DK 551.508.77 Niederschlagsmessungen. DK 311.216 Auswertung. Verlag Paul Parey.
- DWD (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland – KOSTRA. Eigenverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach.
- EG/LV (2005): Homepage Emschergenossenschaft / Lippeverband. <http://www.eglv.de/_3_2.html>
- GIESECKE, J.; SCHMITT, P.; MEYER, H. (1983): Vergleich von Rechenmethoden für Gebietsniederschläge. *Wasserwirtschaft* 73 (1), Seite 1 bis 7.
- GREBNER, D. (1995): Klimatologie und Regionalisierung starker Gebietsniederschläge in der nordalpinen Schweiz. *Züricher geographische Schriften*; 59.

- GREBNER, D.; ROESCH, T.; SCHWARB, M. (1999): Extreme Regional Precipitation of varying Duration and Return Period 1981-1993. Hydrological Atlas of Switzerland, Plate 2.5, Berne.
- GROTTKER, M.; SCHILLING, W. (1989): Urbanhydrologie. Vorlesungsskript des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, Uni Hannover.
- INSTITUTE OF HYDROLOGY (1999): Flood estimation handbook.
- KELLER, R. (1978): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. Harald Boldt Verlag.
- "LOS ANGELES" (Autor unbekannt): Hydrologic Criteria and Drainage Design Manual. WRC Engineering. USACE, Los Angeles District, 1988.
<http://breccia.ccrfcd.org/pdf_arch1/hccdm/Sec500.pdf> (Oktober 2004).
- MALITZ, G. (2004): persönliche Mitteilung am 01.07.2004.
- "MALAYSIA" (Autor unbekannt): Design Rainfall.
<http://agrolink.moa.my/did/river/stormwater/Chapter_13.htm> (Juni 2004).
- MILKE, H. (2003): Niederschlag-Abfluss-Modelle für kleine Einzugsgebiete in urbanen Räumen - Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen. Vortrag: 6. Sachsen-Anhaltisches Bauseminar, 11.04.2003. <http://www.tiefbau.fbb.htwk-leipzig.de/wawi/forschung/vortraege/NAM_DESSAU.pdf>
- NATIONAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL (1975): Flood Studies Report. Meteorological Studies, Vol. II, London.
- SCHILLING, W.; GROTTKER, M. (1989): Vorlesungsskript "Urbanhydrologie". Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, Uni Hannover.
- SCHUMANN, D. (1983): Zur Fläche-Höhe-Beziehung einzelner Regenfälle. Zeitschrift für Meteorologie, 33, Heft 3, S. 179-183.
- SIRIWARDENA, L., WEINMANN, P. E. (1996): Derivation of Areal Reduction Factors for Design Rainfalls in Victoria – For Rainfall Durations 18 – 120 hours. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Report 96/4
- SMITH, J. A., BRADLEY, A. A., BAECK, M. L. (1994): The Space-Time Structure of Extreme Storm Rainfall in the Southern Plains. Journal of Applied Meteorology, Vol. 33, S. 1402-1417.
- SRIKANTHAN, R. (1995): A Review of the Methods for estimating Areal Reduction Factors for Design Rainfalls. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Report 95/3
- VAES, G.; WILLEMS, P.; BERLAMONT, J. (2003): Areal rainfall correction coefficients. 6th International Workshop on Precipitation in Urban Areas – Measured and Simulated Precipitation Data Requirements for Hydrological Modelling. 4th-7th December 2003, Pontresina, Switzerland.
- VAES, G.; WILLEMS, P.; BERLAMONT, J. (2005): Areal rainfall correction coefficients for small urban catchments. Atmospheric Research, Vol. 77 (2005), pp 48-59. Elsevier.
- VALENTINE, E.M. (2003): Storm Sewer Networks. Hydroinformatics and Management Systems, Unit 23. <<http://www.ncl.ac.uk/hydroinformatics/rbhd/module/c01u23.html>> (Juni 2004).
- VENEZIANO, D., LANGOUSIS, A. (2005): The real reduction factor: A multifractal analysis. Water Resources Research, Vol. 41, No. 7, pp . American Geophysical Union.
- VERWORN, H.-R.; FLENDER, W. (1986): Niederschlagshöhen-Dauer-Flächenbeziehungen. promet, 16, Heft 2/3, S. 40-45.

WEINGARTNER, R.; HAUSER, F. (2002): Flood Estimation using the "Hydrological Atlas of Switzerland". Proceedings. International Conference on Flood Estimation. March 6-8, 2002. Report of CHR no. II-17, Berne, Switzerland.

<<http://hydrant.unibe.ch/hades/news/news22/wgfh.htm>> (Juni 2004).

WRRL-EMSCHER (2004): WRRL in NRW – Dokumentation der wasserwirtschaftlichen Grundlagen - Bestandsaufnahme- , Flussgebietseinheit Rhein, Bearbeitungsgebiet Niederrhein, Arbeitsgebiet Emscher. Geschäftsstelle Staatliches Umweltamt Herten. (Stand Juli 2004).

<<http://www.emscher.nrw.de./offen/start.htm>>

WUPPERVERBAND (2002): Flussgebietsplan des Wupperverbandes für das Einzugsgebiet der Wupper – Vorabzug – (Stand August 2002).

<[http://www.wupperverband.de/internet/wupperverbandwys.nsf/files/FGM_PLAN_4te_Fassung.pdf/\\$FILE/FGM_PLAN_4te_Fassung.pdf](http://www.wupperverband.de/internet/wupperverbandwys.nsf/files/FGM_PLAN_4te_Fassung.pdf/$FILE/FGM_PLAN_4te_Fassung.pdf)>