

# Vergleichendes Lexikon

Wichtige Definitionen, Schwellenwerte und Indices  
aus den Bereichen Klima, Klimafolgenforschung und Naturgefahren

2. ergänzte Fassung  
mit über 70  
neuen Begriffen





# Vergleichendes Lexikon

## Wichtige Definitionen, Schwellenwerte und Indices aus den Bereichen Klima, Klimafolgenforschung und Naturgefahren

Autoren: Steffen Bender, Michaela Schaller

Version 2.0.1, Januar 2014

Kontakt: Steffen.Bender@hzg.de

**Zitierhinweis:**

Bender, S. & Schaller, M. (2014): Vergleichendes Lexikon. - Wichtige Definitionen, Schwellenwerte und Indices aus den Bereichen Klima, Klimafolgenforschung und Naturgefahren. Climate Service Center, 126 S.

# Inhalt

Inhalt.....	2
Tabellenverzeichnis.....	5
Abbildungsverzeichnis.....	6
Vorwort.....	7
Abflussganglinie.....	10
Abflussjahr.....	10
Albedo.....	11
Planetare Albedo.....	11
Anpassung (Adaptation).....	12
Anpassungskapazität.....	14
Aquifer.....	14
Basisabfluss.....	15
Beaufort-Skala.....	15
Bemessungsregenspende.....	16
Bemessungswasserstand.....	17
Dauerfrost.....	17
Dauerregen.....	17
Direktabfluss.....	18
Dürre.....	18
Meteorologische Dürre.....	19
Landwirtschaftliche oder Bodenfeuchte Dürre.....	19
Hydrologische Dürre.....	19
Grundwasser-Dürre.....	20
Sozio-ökonomische Dürre.....	21
Dürre, Index.....	22
Meteorologische Dürre-Indices.....	22
Hydrometeorologische Dürre-Indices.....	24
Agrarwirtschaftliche Dürre-Indices.....	26
Hydrologische Dürre-Indices.....	27
Dürre-Indices aus Fernerkundungsdaten.....	29
Kombinierte Dürre-Indices.....	29
Ecosystem-Well-being Index.....	32
Eis-Albedo Rückkopplung.....	32
Eistag.....	33
Ensemble-Simulationen.....	33
Environmental Benefits Index.....	34
Environmental Performance Index.....	35
Environmental Sustainability Index.....	35
Evaporation.....	35
Evapotranspiration.....	35
Exposition.....	36
Extremereignis, Index.....	36
Extremniederschlag.....	36
Extremwetterereignis.....	37
Frostperiode.....	38
Frosttag.....	38
Frostrocknis.....	39
Fujita-Torndao-Skala.....	39
Gewässergute, Index.....	40
Gewässerkundliche Hauptwerte.....	43
Globalstrahlung.....	44
Green City Index.....	45
Grundhochwasser.....	45
Grundwasserleiter.....	46
Grundwasserneubildung.....	46
Heißer Tag.....	52
Heizgradtag.....	52
Heizperiode.....	53

Heiztag.....	53
Hitze-Index.....	54
Hitzetag.....	55
Hitzewelle (Hitzeperiode).....	55
Hitzewelle, Index.....	56
Hochwasser.....	56
Human Well-being Index.....	57
Hydrologische Hauptwerte.....	57
Hydrologisches Jahr.....	57
Jährlichkeit.....	58
Kälteperiode.....	58
Kälteperiode, Index.....	59
Klima.....	59
Klimaelemente.....	60
Klimafaktoren.....	60
Klimanormalperiode.....	60
Klimaschutz.....	61
Living Planet Index.....	61
Low-regret-Maßnahmen.....	61
Megadürre.....	62
Meteorologische Jahreszeiten.....	63
Mitigation.....	63
Nachhaltigkeit.....	64
Niederschlag, Index.....	65
Niedrigwasser, Binnengewässer.....	67
Niedrigwasser, Index.....	67
No-regret-Maßnahmen.....	71
Pegel.....	73
Phänologisches Jahr.....	73
Regenperiode.....	73
Regentag.....	74
Resilienz.....	74
Saffir-Simpson-Hurrikan-Skala.....	75
Schneebedeckung.....	75
Schneemenge.....	76
Schneetag.....	76
Sommertag.....	76
Starkregen.....	77
Starkregenepisode.....	79
Sturmtag.....	80
Sturzflut.....	80
Temperaturanomalie.....	80
Temperatur-Feuchte, Index.....	81
Temperatur, Index.....	81
Testreferenzjahr.....	82
Trockentag.....	82
Trockentag, Index.....	82
Trockenperiode.....	83
Trockenwetterabfluss.....	84
Tropennacht, tropische Nacht.....	84
Tropentag.....	85
Überflutung, Oberflächen.....	85
Überschwemmung.....	85
Vegetationsperiode.....	86
Verdunstung.....	90
Potentielle Evapotranspiration.....	91
Spezielle Verdunstungsbetrachtungen.....	93
Aktuelle Evapotranspiration.....	94
Evaporation, Boden.....	95
Verwundbarkeit.....	96
Vulnerabilität.....	96
Vulnerabilität, Index.....	99

Vulnerability-resilience indicator modell .....	100
Wachstumszeit .....	101
Waldbrand, Index .....	101
Warmperiode, Index .....	103
Wasserbilanz, klimatische .....	103
Wasserstand.....	104
Wasserwirtschaftsjahr .....	104
Water Exploitation Index.....	104
Well-being-Index.....	105
Wetter .....	105
Wetterlage .....	106
Wiederkehrwahrscheinlichkeit .....	106
Windstärke.....	106
Windstillen Tag .....	106
Winterdürre .....	107
Win-Win-Maßnahmen.....	107
Witterung .....	107
Annex 1: Verwendete Abkürzungen.....	108
Annex 2: Formeln .....	110
Annex 3: Glossar .....	125

## Tabellenverzeichnis

Tab.1: Albedowerte verschiedener Oberflächen .....	11
Tab.2: Beaufort-Skala.....	15
Tab.3: Dürre-Intensitäten nach dem U.S. National Weather Center (METTE et al. 2011) .....	18
Tab.4: Hydrologische Dürre, Klassifikation von WILHITE UND GLANZ (1985) .....	20
Tab.5: Übersicht meteorologischer Dürre-Indices.....	22
Tab.6: Dürre-Klassifikation auf Basis der Dezil-Methode.....	23
Tab.7: Dürre-Klassifikation auf SPI-Basis (LOUCKS et al. 2006).....	24
Tab.8: Hydrometeorologische Dürre-Indices.....	24
Tab.9: Klassifikation der aktuellen Wetterbedingungen nach PDSI (ALLEY 1984).....	25
Tab.10: Allgemeine Beschreibung für relative KDBI-Stufen (SERCC 2002, USDA 2002).....	25
Tab.11: Agrarwirtschaftliche Dürre-Indices .....	26
Tab.12: Dürre-Kategorien des Trockenheit-Index.....	26
Tab.13: Hydrologische Dürre-Indices .....	28
Tab.14: Dürre-Klassifikation auf SWSI-Basis (SHAFER & DEZMAN 1982) .....	28
Tab.15: Dürre-Klassifikation auf RDI-Basis (NDMC 2005) .....	29
Tab.16: Dürre-Indices aus Fernerkundungsdaten .....	29
Tab.17: Kombinierte Dürre-Indices .....	30
Tab.18: FUJITA-Tornado-Skala (Stand 2012) .....	39
Tab.19: Häufig verwendete Indices zur Beurteilung der Gewässergüte.....	40
Tab.20: Bezeichnung der Wassergüte nach CCME (2005).....	41
Tab.21: Auswahl wichtiger gewässerkundlicher Hauptwerte.....	43
Tab.22: Mittlere Verdunstungshöhen für verschiedene Bodengruppen und Nutzungen .....	48
Tab.23: Heizgradtage in Deutschland (www.tga-fachplaner.de).....	53
Tab.24: Hitze-Index Tabelle in Celsius nach (www.eurometeo.com) .....	54
Tab.25: Stufen des Hitze-Index und zugehörige Gefahren.....	54
Tab.26: Hitzewellen-Definitionen.....	55
Tab.27: Niederschlag-Indices.....	66
Tab.28: Ausmaß der Niedrigwasserbedingungen .....	67
Tab.29: Häufigkeit der Niedrigwasserbedingungen .....	68
Tab.30: Dauer der Niedrigwasserbedingungen.....	68
Tab.31: Abwandlungen des 7Q10-Index für 7 aufeinander folgende Tage .....	69
Tab.32: Abwandlungen des 7Q10-Index für unterschiedliche Zeiträume .....	69
Tab.33: Die phänologischen Jahreszeiten .....	73
Tab.34: SAFFIR-SIMPSON-Hurrikan Skala (Stand 2012) (www.nhc.noaa.gov).....	75
Tab.35: DWD-Klassifikation des Schneebedeckungsgrades.....	75
Tab.36: Übersicht von Starkregen-Schwellenwerten für Deutschland (1 mm = 1 (l/m <sup>2</sup> )).....	77
Tab.37: Ausgesuchte Indices mit Temperaturbezug.....	81
Tab.38: Übersicht der Randbedingungen für Trockenperioden .....	83
Tab.39: Übersicht der Randbedingungen für Vegetationsperioden.....	87
Tab.40: Richtwerte mittlere tägliche Schneeeverdunstung, Deutschland (nach RACHNER 1999) .....	93
Tab.41: Sektoren und Variablen im VRIM (BRENKERT & MALONE 2005) .....	100
Tab.42: Monatliche Pflanzenfaktoren für Verfahren nach HAUDE in Deutschland .....	112
Tab.43: MAKKINK-Faktoren nach DVWK (1996) .....	114
Tab.44: Größenordnungen biologischer Widerstände (nach BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1996) .....	115
Tab.45: Korrekturfaktoren für PENMAN-Berechnung, Waldbestände (nach ERNSTBERGER 1987).....	115
Tab.46: Koeffizienten in der TURC-Formel.....	116
Tab.47: PRIESTLEY-TAYLOR- Koeffizienten (FLINT & CHILDS 1991).....	118
Tab.48: Standortfaktoren bewachsener Flächen für Verfahren nach RENGER & WESSOLEK .....	119
Tab.49: Ableitung der Wahrscheinlichkeit für ein Feuer aus dem Angström-Index .....	122
Tab.50: Gefährdungsstufen des BAUMGARTNER-Index.....	122
Tab.51: Ableitung der Brandgefahr aus dem Nesterov-Index.....	123
Tab.52: Korrektur der Waldbrandkennziffer (WBKZ) .....	123
Tab.53: Ableitung der Warnstufen und Waldbrand-Wahrscheinlichkeit nach KÄSE (1969) .....	123

## Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Komponenten einer Abfluss-Ganglinie .....	10
Abb.2: Unterschied zwischen Aquifer und Grundwasserleiter (www.ogwa-hydrog.ca, verändert).....	15
Abb.3: Komponenten der Globalstrahlung (www.newport.com), verändert.....	44
Abb.4: Schema der Grundwasserneubildung (Quelle: www.lfu.bayern.de).....	46
Abb.5: Komponenten des Wasserhaushalts von Wäldern (ZIMMERMANN et al. 2008).....	91
Abb.6: Schematische Darstellung des Wasserkreislaufs für Deutschland (1961 – 1990) (nach BfG 2008); (www.bgr.bund.de).....	104

## Vorwort

Für viele Fachbegriffe, wie zum Beispiel Extremereignisse oder Dürre, gibt es in der Literatur keine eindeutigen bzw. unterschiedlichen Definitionen. Doch welche Definition ist die richtige? Mit zunehmendem Informationsbedarf zu den vielfältigen Fragen im Umgang mit dem Klimawandel wächst der Bedarf nach eindeutigen Definitionen der interdisziplinär genutzten Fachbegriffe.

Die vergleichende Zusammenstellung wichtiger Definitionen, Schwellenwerte, Kenndaten und Indices für Fragestellungen rund um das Thema Klimawandel und seine Folgen wurde vom Climate Service Center (CSC) – angeregt durch in der Praxis geäußerten Bedarf – erstellt, um Abhilfe zu schaffen. Es richtet sich an Sachbearbeiter und Projektverantwortliche aus Verwaltung, Industrie und Wissenschaft, die sich in der Praxis mit klimarelevanten Fragestellungen beschäftigen. Darüber hinaus bietet es auch klima-interessierten Laien die Möglichkeit, ihr Wissen in Bezug auf unterschiedliche Definitions- und Methodikansätze zu verbessern.

Die vorliegende Sammlung vergleicht für ausgesuchte Begriffe aus dem Bereich Meteorologie, (Agrar-)Klimatologie und Hydro(geo)logie die Vielfalt möglicher Definitionen und Kenndaten. Darüber hinaus wird für ausgesuchte Parameter gezeigt, wie diese zu ermitteln sind und welche Einschränkungen die jeweiligen Verfahren besitzen können.

Dank existierender Suchmaschinen können heutzutage Begrifflichkeiten schnell online nachgeschlagen werden. Glossare mit meteorologischen Begriffen werden etwa vom Deutschen Wetterdienst (DWD), der World Meteorological Organization (WMO) oder vom „CLIVAR (Climate Variability and Predictability) programme“ angeboten. Eine umfangreiche Enzyklopädie bietet auch das Wiki „Klimawandel“ (<http://klimawiki.org>), das auf die Nutzung im Bildungsbereich ausgerichtet ist und sich primär anderen Zielen widmet als die vorliegende Arbeit. Wenn man sich jedoch die Mühe macht, sich nicht mit der ersten Definition oder mit einem einzigen Ergebnis zufrieden zu geben, wird man sehr schnell feststellen, dass es für viele Begriffe nicht nur eine „gültige Definition“ gibt. Für den Begriff „Dürre“ gibt es beispielsweise je nach sektoraler Sichtweise und vorhandenen Beobachtungsdaten unterschiedliche Definitionsansätze, woraus sich sehr schnell eine große Anzahl von Definitionen ergibt. Im englischsprachigen Raum existieren z.B. mehr als 150 verschiedene Definitionen von „Dürre“, die alle ihre Gültigkeit besitzen, jedoch eine räumliche, zeitliche und sektorale Begrenzung aufweisen. Wird diese Begrenzung nicht angegeben, entstehen schnell Konflikte, insbesondere dann, wenn die Definitionen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, bzw. sich unterschiedliche Grenz- und Schwellenwerte gegenüberstehen. Mit welcher Definition muss dann gearbeitet werden? Wie vergleicht man Studien, die auf unterschiedlichen Annahmen beruhen? Der vorliegende Bericht gibt zwar keine Wertung für die einzelnen Definitionen an, er zeigt aber die jeweiligen Unterschiede und Hintergründe auf. Mit diesem Wissen ist es dann möglich, die relevanten Definitionen zu identifizieren oder aber weitere Fragen zu stellen, um die am besten auf die Fragestellung zugeschnittene Definitionsvariante zu ermitteln.

### Der regionale und fachübergreifende Bezug

Generell gilt, dass Definitionen, Kenndaten oder Indices, die klimarelevante Parameter beinhalten, zumeist nur in einer bestimmten Klimazone Gültigkeit besitzen. Ihre Übertragbarkeit auf andere Zonen ist stark limitiert, da dort andere Bedingungen herrschen. Die Verwendung statistischer Herangehensweisen, mit der Wahl von *Perzentilen* als obere und untere Schwellenwerte bietet eine größere Flexibilität, da sich die Grenzen den regionalen

Datensätzen anpassen. Somit ist ihr Einsatz in verschiedenen Klimazonen möglich. Als Nachteil ist jedoch zu sehen, dass durch den Ortsbezug ein Vergleich zwischen einzelnen Regionen nur eingeschränkt möglich ist. Somit erhalten Entscheidungsträger auch keine festgeschriebenen Schwellenwerte, mit denen sie ohne größeren Aufwand arbeiten können. Zudem müssen die Eingangsdaten zunächst so lange fortlaufend aktualisiert werden, bis eine robuste Datengrundlage entstanden ist, mit der sinnvoll gearbeitet werden kann.

Neben der regionalen Übertragbarkeit ist die fachbezogene Übertragbarkeit häufig ebenfalls schwierig, da die Definitionen oft aufgrund meteorologischer, hydrologischer, sozio-ökonomischer oder anderer, etwa sektorbezogener Kriterien erfolgen. Dazu kommen noch unterschiedliche räumliche und zeitliche Betrachtungsebenen. Dies wird insbesondere dann problematisch, wenn in integrativen fachübergreifenden Projekten die unterschiedlichen Definitionen und Schwellenwerte parallel verwandt werden und zu Entscheidungskonflikten führen.

Aber auch innerhalb einzelner Fachdisziplinen können Vorgehensweisen zur Bestimmung von Kenndaten variieren. So werden häufig der Einfachheit halber empirische Berechnungsverfahren angewendet, die streng genommen nicht überall gültig sind. Im Laufe der Zeit gehen die Einschränkungen aufgrund schlechter Dokumentation zunehmend verloren, sodass oft ungenaue Lösungsansätze für spezifische Fragestellungen angewendet werden, was daraus abgeleiteten Entscheidungen nicht förderlich ist. Häufig spielt die Zugänglichkeit von Eingangsparametern die zentrale Rolle für die Wahl der Methodik, oft ungeachtet der allgemeinen Gültigkeit. Die zeitliche und räumliche Anwendbarkeit oder die Genauigkeit aufgrund der gemachten Annahmen bleiben oft unbeachtet bzw. undokumentiert. Deshalb werden bei den vorgestellten Methoden sowohl Vor- als auch Nachteile und die bekannten Grenzen der Verfahren angegeben.

### **Begriffsauswahl**

Für die erste Auflage erfolgte die Auswahl der Begriffe in zwei Schritten. Zunächst wurden diejenigen gewählt, die in klimarelevanten Projekten häufig genutzt werden, deren Definition jedoch von Projekt zu Projekt variieren. In einem zweiten Schritt wurde die Sammlung um die Begriffe ergänzt, für die es zwar keine konkurrierenden Definitionen gibt, die zum weiteren Verständnis notwendig sind. Querverweise innerhalb des Lexikons werden dazu farblich hervorgehoben.

In der zweiten Auflage wurde das Lexikon um 76 wichtige Begriffe, Definitionen und Indices aus dem Bereich der Klimafolgenforschung ergänzt. Der Schwerpunkt lag hier bei der Beschreibung und Klassifikation von Wasserständen. Darüber hinaus wurden fünf Begriffe aus der ersten Auflage erweitert und überarbeitet.

Die vorliegende Begriffsauswahl wird auch weiterhin fortlaufend aktualisiert und um neue Begriffe ergänzt. Da das Lexikon als lebendes Dokument konzipiert ist, freuen wir uns über weitere Hinweise auf Definitionen oder Begriffe, die in dieser Sammlung noch fehlen und berücksichtigt werden sollten.

### **Quellenangaben**

Bei der Auswahl der Quellenangaben stellt sich immer die Frage nach seriösen und unseriösen Quellen. Was in der Wissenschaft eine fundamentale Frage ist, verwischt mit zunehmender Distanz zum Wissenschaftssektor, bis alle Quellen ohne Gewichtung als gleichwertig angesehen werden. In dieser Begriffssammlung werden neben wissenschaftlichen Quellen auch solche zitiert, die im Internet schnell Begriffserklärungen bieten und deshalb häufig genutzt werden. Bei der Recherche zeigte sich bei vielen Begriffen, dass sich gleichlautende Begriffserklärungen unter vielen verschiedenen Quellen

finden, wobei die Urquelle selten erkennbar ist. In diesen Fällen wurde das Zitat einer Literaturquelle zugeordnet, die jedoch nicht zwangsläufig die Urquelle sein muss.

Für einige Begriffe werden Zitate verwendet, die Internetseiten entstammen. Da sich die Link-Pfade in unregelmäßigen Zeitabständen verändern, werden hier nur Angaben zu den jeweiligen Hauptadressen gemacht. Von dort müssen die zugehörigen Glossare, Definitionssammlungen oder Begriffserklärungen eigenständig über die jeweiligen Menüs angesteuert werden.

### **Dank**

Vielen Dank an Paul Bowyer, Irene Fischer-Bruns, Jörg Cortekar, Markus Groth, Nils Hempelmann, Barbara Hennemuth, Elke Keup-Thiel, Juliane Petersen, Sandra Pingel und Diana Rechid für ihre Hilfe bei der Recherche und für den internen Review. Die zahlreichen Anmerkungen haben substantiell zur Verbesserung des Inhalts beigetragen.

## Abflussganglinie

Die Abflussganglinie ist eine Darstellung von beobachteten oder berechneten Abfluss- oder Durchflussmengen, also Wasservolumen, für einen Messort. Sie lässt sich in drei Bereiche unterteilen; den Trockenwetterabfluss, den direkten Abfluss und den Basisabfluss.

Als direkter Abfluss werden die Wassermengen bezeichnet, die mit geringer Verzögerung ein abfließendes Gewässer (*Vorfluter*) erreichen. Der Direktabfluss kann nochmals in Oberflächen- und Zwischenabfluss (Interflow) unterteilt werden ([www.hydroskript.de](http://www.hydroskript.de)). In der Abflussganglinie zeichnet sich der Direktabfluss durch einen schnellen Anstieg der Fließgeschwindigkeit und somit eine schnelle Erhöhung der Transportkraft aus.

Als Basisabfluss (Base Flow) werden die Teile des Wassers bezeichnet, die den *Vorfluter* erst mit erheblicher Zeitverzögerung erreichen. Er setzt sich aus Grundwasser und dem verzögerten Zwischenabfluss zusammen.

Der Trockenwetterabfluss ist der Abflussanteil, der ausschließlich aus Grundwasser besteht. Es beschreibt also den Abfluss, der nach einer längeren Zeitspanne ohne den Einfluss von abflusswirksamem Niederschlagswasser auftritt. In der Siedlungswasserwirtschaft beschreibt der Trockenwetterabfluss das Abwasser, welches sich nur aus Schmutz- und Fremdwasser zusammensetzt und keine Anteile Regenwasser enthält ([www.geodz.com](http://www.geodz.com)).

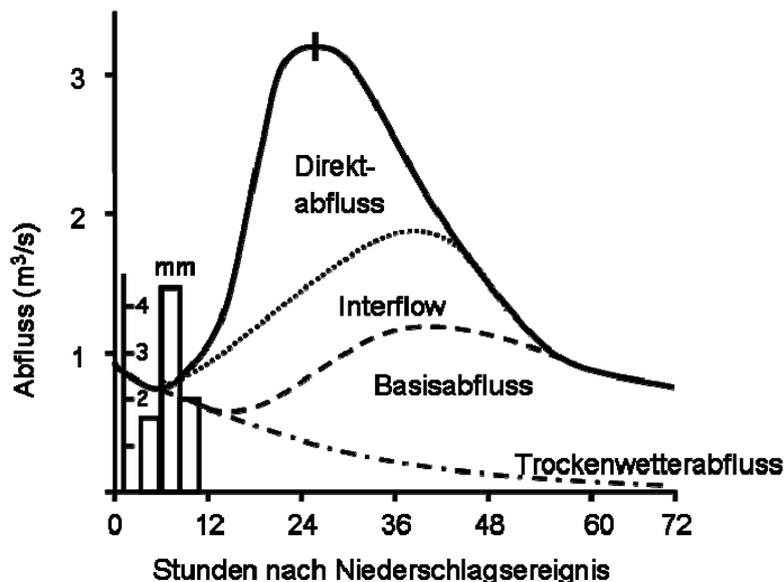


Abb.1: Komponenten einer Abfluss-Ganglinie

Quellen (Stand: 31.07.12)

<http://www.geodz.com>

<http://www.hydroskript.de>

## Abflussjahr

Siehe „Hydrologisches Jahr“

## Albedo

Die Albedo ist ein Maß für das Rückstrahlvermögen des Lichts von reflektierenden Oberflächen, also ein Maß für die Helligkeit eines Körpers ([www.klimawiki.org](http://www.klimawiki.org)). Sie wird durch das Verhältnis aus reflektierter zu einfallender Lichtmenge beschrieben und nimmt Werte zwischen 0 (0% = vollständige Absorption) und 1 (100% = vollständige Reflexion) ein. Diese stark vereinfachte Definition wird von **STRUGNELL & LUCHT (2001)** durch die Betrachtung der Strahlungsart bzw. von **PINTY et al. (2005)** durch Berücksichtigung der Flusssdichte (Energie pro Zeit und Flächeneinheit) und Bestrahlungsstärke (d.h. die gesamte Leistung eingehender elektromagnetischer Energie, die auf eine Oberfläche trifft) erweitert. Generell steht die reflektierte Strahlung für die Erwärmung eines Körpers nicht zur Verfügung. Eine geringe Albedo, also eine hohe Absorption des einfallenden Lichts, ist meist ein Hinweis auf die Erwärmung einer Oberfläche und angrenzender Luftschichten. Die Albedo hängt von den Eigenschaften der bestrahlten Fläche ab. Für verschiedene Spektralbereiche des Lichts kann sie unterschiedlich groß sein.

Tab.1: Albedowerte verschiedener Oberflächen

Oberfläche	Albedo [%]	Oberfläche	Albedo [%]
Ackerboden, dunkel <sup>3)</sup>	7 – 10	Sandboden (trocken, hell) <sup>3)</sup>	25 – 45
Asphalt <sup>3)</sup>	5 – 20	Savanne <sup>2)</sup>	20 – 25
Buschland <sup>4)</sup>	20 – 21	Schneedecke, alt <sup>3)</sup>	40 – 70
Felder, unbestellt <sup>2)</sup>	26	Schneedecke, neu <sup>3)</sup>	75 – 90
Getreidefeld <sup>3)</sup>	10 – 25	Stadtgebiet <sup>3)</sup>	10 – 30
Grünland, mittel bis hoch <sup>4)</sup>	15 – 18	Waldgebiet <sup>4)</sup>	15 – 18
Himmel, bedeckt <sup>1)</sup>	50 – 80	Wasserflächen <sup>1)</sup>	3 – 10
Laubwald <sup>4)</sup>	17 – 18	Wiese <sup>3)</sup>	15 – 25
Laubmischwald <sup>4)</sup>	16	Wüste <sup>4)</sup>	36
Rasen <sup>2)</sup>	18 – 23		

<sup>1)</sup> <http://www.top-wetter.de>, <sup>2)</sup> <http://www.klimawiki.org>, <sup>3)</sup> **SUKOPP, H. & WITTIG, R. (1998)**,

<sup>4)</sup> **COAKLEY (2002)**

## Planetare Albedo

Als planetare Albedo bezeichnet man die Albedo des Gesamtsystems Erde/Atmosphäre. Sie beträgt im Mittel 30%. Sie spielt eine wichtige Rolle beim Strahlungshaushalt der Erde, d. h. der Bilanz von auf- und abwärtsgerichteten Strahlungsflüssen in der Atmosphäre ([www.geodz.com](http://www.geodz.com)).

### Quellen (Stand: 31.07.12)

COAKLEY J.A. (2002): Reflectance and albedo, surface.- In: HOLTON, J. R., CURRY, J.A. & PYLE, J. A. (eds): Encyclopedia of the atmospheric sciences. Academic Press, pp 1914–1923

PINTY, B., LATTANZIO, A., MARTONCHIK, J. V., VERSTRAETE, M. M., GOBRON, N., TABERNER, M., WIDLowski, J.-L., DICKINSON, R. E., & GOVAERTS, Y. (2005): Coupling diffuse sky radiation and surface albedo. - J Atm Science 62, 2580-2591

STRUGNELL, N., & W. LUCHT, (2001): Continental-scale albedo inferred from AVHRR data, land cover class and field observations of typical BRDFs. - J. Climate, **14**, 1360–1376

SUKOPP, H. & WITTIG, R. [Hrsg.] (1998): *Stadtökologie*. (2. Aufl.), 474 S.

<http://www.geodz.com>

<http://www.top-wetter.de>

<http://www.klimawiki.org>

## Anpassung (Adaptation)

Der Begriff Anpassung wird in der Wissenschaft je nach Fachgebiet unterschiedlich definiert. In der Ökologie wird mit Anpassung der Prozess einer Veränderung beschrieben, wodurch sich ein Organismus auf neue bzw. veränderte Umweltbedingungen einstellt. In den Sozialwissenschaften beschreibt der Begriff die soziokulturelle Angleichung von Individuen an neue soziale und politische Strukturen. Im Bereich der Entwicklungspolitik steht der Anpassungsbegriff für die Ausrichtung aller wirtschaftspolitischen Maßnahmen zur Gestaltung der Struktur der Volkswirtschaft an übergeordnete politökonomische und entwicklungspolitische Vorgaben.

In der Debatte um den Klimawandel tritt der Begriff Anpassung häufig in Verbindung mit Klimafolgen und Klimaschutz ([Mitigation](#)) auf. Da das Klima auf äußere Einflüsse mit Verzögerungen von Jahrzehnten bis Jahrtausenden reagiert, wird die globale Erwärmung selbst durch strengste Klimaschutzbemühungen nicht mehr zu verhindern sein. Daher müssen neben den Maßnahmen zum Klimaschutz auch Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels erfolgen. Das Nebeneinander von Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen wird sehr gut von [PARRY et al. \(2007\)](#) zusammengefasst. Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) weist darauf hin, dass die Reaktion auf die Folgen des Klimawandels mit einem iterativen Risikomanagement-Prozess erfolgen muss, der sowohl Anpassungs- wie auch Klimaschutzmaßnahmen beinhaltet ([IPCC 2007](#)).

Generell gibt es für die Anpassung an den Klimawandel keine eindeutige Definition ([DIETZ 2006](#)). Nach [WILLOWS & CORNELL \(2003\)](#) ist Anpassung ein Prozess, der zu einer Reduktion von Schäden oder zur Realisierung von Vorteilen in Verbindung mit der Klimavariabilität und dem Klimawandel führt. [LIM et al. \(2005\)](#) weisen darauf hin, dass bei dem Prozess der Anpassung Strategien zur Milderung, Bewältigung und zur Vorteilnahme der Folgen des Klimawandels entwickelt oder umgesetzt werden.

In der polit-ökonomischen Literatur hat sich bislang die Definition des IPCC durchgesetzt ([FÜSSEL 2007](#), [GTZ 2007](#), [ADGER et al. 2005](#), [TOL 2005](#)). Diese beschreibt die Anpassung an den Klimawandel als „Anpassung ökologischer, sozialer oder ökonomischer Systeme an aktuelle oder künftige klimatische Stimuli und deren Folgen und Auswirkungen“. Der Begriff umfasst Veränderungen in Prozessen, Handlungsweisen oder Strukturen zur Minimierung oder gar Vermeidung möglicher Schäden sowie zur Nutzung möglicher Vorteile, die durch den Klimawandel auftreten können ([SMIT & PILIFOSOVA 2001](#)).

Aus der IPCC-Definition ergeben sich drei wesentliche Dimensionen der Anpassung ([SMIT et al. 1999](#)): 1.) Anpassung an was? 2.) Wer oder was nimmt die Anpassung vor? 3.) Wie erfolgt die Anpassung?

Grundsätzlich wird zwischen einer autonomen (spontanen) und einer geplanten Anpassung unterschieden. Unter einer autonomen Anpassung versteht man die Anpassung, die keine bewusste Reaktion auf klimatische Reize darstellt, sondern durch ökologische Veränderungen in natürlichen Systemen oder Veränderungen in menschlichen Systemen ausgelöst wird. Im Gegensatz dazu ist die geplante Anpassung das Ergebnis einer bewussten politischen Entscheidung, die auf dem Bewusstsein basiert, dass sich die Bedingungen geändert haben und Maßnahmen erforderlich sind, um zum alten Zustand zurückzukehren, oder einen gewünschten Zustand zu erhalten bzw. zu erreichen ([IPCC 2007](#)).

Im Wesentlichen beinhaltet die Anpassung Reaktionen auf die Folgen des Klimawandels, egal ob diese bereits erlebt wurden oder voraussichtlich in einer möglichen Zukunft stattfinden werden. Anpassung ist hierbei ein sich wiederholender Prozess aus a) Definition des Problems, b) Planung und Durchführung von Maßnahmen sowie c) Überwachung und Überprüfung durchgeführter Maßnahmen im Hinblick auf neue oder veränderte Informationen,

Risiken oder Vorschriften. Das Einstellen auf neue Rahmenbedingungen kann auf Grundlage von Planungen angeordnet werden oder sie kann auch ohne politische Vorgaben erfolgen ([www.climate-adaptation.info](http://www.climate-adaptation.info)).

Anpassungsstrategien und -maßnahmen reichen von kurzfristigen Bewältigungsansätzen bis hin zu langfristigen und weitreichenden Veränderungen (MOSER & EKSTROM 2010). Dabei ist es wichtig, mögliche Synergien oder Konflikte zu identifizieren, die von einer Maßnahme im Hinblick auf ihren Einfluss sowohl auf den Klimaschutz als auch die Anpassung an den Klimawandel ausgehen können (MOSER 2012). Die Maßnahmen können technischer (physischer) oder planerischer Art sein. Physische Anpassungsmaßnahmen können beispielsweise eine geänderte landwirtschaftliche Bodennutzung oder die Schaffung von Überflutungsräumen (Retentionsräumen) für den Hochwasserschutz sein. Planerische Anpassungsmaßnahmen zielen auf die räumliche Steuerung, Abwägung und Umsetzung solcher Aktionen ab.

Ziel der Anpassungsmaßnahmen ist es, potentielle Schädigungen zu vermeiden oder zu verringern bzw. neue Chancen zu nutzen. Dies kann dadurch geschehen, dass man die sich verändernden klimatischen Gegebenheiten nutzt oder einen adäquaten Umgang mit den Folgen des Klimawandels entwickelt (IPCC 2001).

**Nutzerhinweis:** Bei der Verwendung von Anpassungsmaßnahmen gilt es immer zu berücksichtigen, dass jede Maßnahme individuell, standortbezogen, flexibel und auf die jeweilige Fragestellung hin erarbeitet werden muss. Universelle Einheitslösungen gibt es nicht.

#### Quellen (Stand 28.10.13)

- Adger, W. N., Arnell, N. W. & Tompkins, E. L. (2005): Successful adaptation to climate change across scales. - *Global Environmental Change* 15, 77-86.
- Dietz, K. (2006): Vulnerabilität und Anpassung gegenüber Klimawandel aus sozial-ökologischer Perspektive. - Aktuelle Tendenzen und Herausforderungen in der internationalen Klima- und Entwicklungspolitik. - Diskussionspapier 01/06 des Projektes „Global Governance und Klimawandel“, 57 S.
- Füssel, H.-M. (2007): Adaptation Planning for Climate Change: Concepts, Assessment Approaches and Key Lessons. - *Sustainability Science* 2, 265-275.
- GTZ (2007): Economic approaches to climate change adaptation and their role in project prioritisation and appraisal, 36 S. (Hrsg. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)).
- IPCC (2001): Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. - Online-document
- IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Lim, B., Spanger-Siegrfried, E., Burton, I., Malone, E. & Huq, S. (2005): Adaptation Policy Frameworks for Climate Change. Developing Strategies, Policies and Measures. – UNDP, United Nations Development Programme, 253 S.
- Moser S. C. (2012): Adaptation, mitigation, and their disharmonious discontents: an essay. - *Climatic Change* (2012) 111: 165–175.
- Moser, S. C. & Ekstrom, J. A. (2010): A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. *PNAS*, Vo. 107, Nr. 51, 22026 – 22031. Vol.<http://www.pnas.org/content/107/51/22026>.
- Parry, M. L., Canziani, O. F. Palutikof, J. P., van der Linden, P. J. & Hansson, C. E. (2007): Technical Summary. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 23-78.
- Smit, B. & Pilifosova, O. (2001): Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity. Chapter 18 in *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability— Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Smit, B., Burton, I. Klein, R. J. T. & Street, R. (1999): The science of adaptation: a framework for assessment. - *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 4, 199-213.
- Tol, R. S. J. (2005): Adaptation and mitigation: trade-offs in substance and methods. - *Environmental Science and Policy* 8, 572-578.
- Willows, R. I. & R. K. Cornell (2003): Climate Adaptation: Risk, Uncertainty and Decisionmaking. - UKCIP Technical Report, Oxford. 154 S.  
<http://www.climate-adaptation.info>

## Anpassungskapazität

Das Konzept der Anpassungskapazität führt leicht zu Missverständnissen. [BROOKS & ADGER \(2005\)](#) weisen darauf hin, dass im Rahmen dieses Konzept sowohl die Ressourcen als auch das Systemverhalten zu berücksichtigen sind. Nach [Lim et al. \(2005\)](#) repräsentiert die Anpassungskapazität die Menge der zur Verfügung stehenden Ressourcen und die Fähigkeit oder Kapazität dieses Systems, diese Ressourcen effektiv zu nutzen, um Anpassungsmaßnahmen umzusetzen. Diese Maßnahmen werden genutzt, um Schäden zu mindern, Auswirkungen des Klimawandels, einschließlich der Klimavariabilität und der Extremwerte, zu bewältigen oder um die Veränderungen auch zum Vorteil nutzen zu können ([IPCC 2001](#)).

Die Anpassungskapazität ist von verschiedenen Faktoren abhängig, wie den ökonomischen Ressourcen, Know-how und Technologie, institutionellen Kapazitäten oder dem politischen Willen ([www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at)). Sie ist gering, wenn die notwendigen Ressourcen (finanziell, organisatorisch, legislativ, wissensbezogen etc.) zur Realisierung eines ausreichenden Anpassungsgrades nicht zur Verfügung stehen. In diesem Fall wird sich das System nicht an die Folgen des Klimawandels anpassen können ([ZEBISCH et al. 2005](#)).

Ein ungebremster Klimawandel wird auf lange Sicht dazu führen, dass die Anpassungskapazität natürlicher, bewirtschafteter und menschlicher Systeme überschritten wird. Zur Bewältigung der daraus resultierenden Auswirkungen werden weiterführende Maßnahmen zur Erhöhung der Anpassungskapazität notwendig, wobei diese jedoch im Einklang mit Klimaschutzmaßnahmen stehen sollten.

### Quellen (Stand 28.10.13)

Brooks, N. & Adger, W. N. (2005): Assessing and enhancing adaptive capacity. – In: Burton, I., Malone, E. L. & Huq, S. [eds.]: Adaptation Policy Framework for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures, 167 -181.

IPCC (2001): Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

Lim, B., Spanger-Siegfried, E., Burton, I., Malone, E. & Huq, S. (2005): Adaptation Policy Frameworks for Climate Change. Developing Strategies, Policies and Measures. – UNDP, United Nations Development Programme, 253 S.

Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Haße, C., Fritsch, U., & Cramer, W. (2005): Klimawandel in Deutschland. - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. – Bericht- UFOPLAN, Förderkennzeichen 201 41 253, Kurzfassung, 12 S.

<http://www.umweltbundesamt.at>

## Aquifer

Der Begriff Aquifer ist inzwischen auch in Deutschland weit verbreitet. Allerdings wurde er nicht in die in Deutschland gültige hydrogeologische Begriffsbestimmung nach [DIN 4049-3 \(DIN 1994\)](#) aufgenommen.

Ursprünglich bezeichnet der Aquifer eine Schichtenfolge, die zur Abgabe einer signifikanten Wassermenge geeignet ist. Dies schließt das Wasser der ungesättigten Zone mit ein. Vergleiche dazu die Definition für [Grundwasserleiter](#).

### Quellen (Stand 28.10.13)

DIN (1994): DIN 4049-3, Hydrologie - Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie, 80 S.

[www.ogwa-hydrog.ca](http://www.ogwa-hydrog.ca)

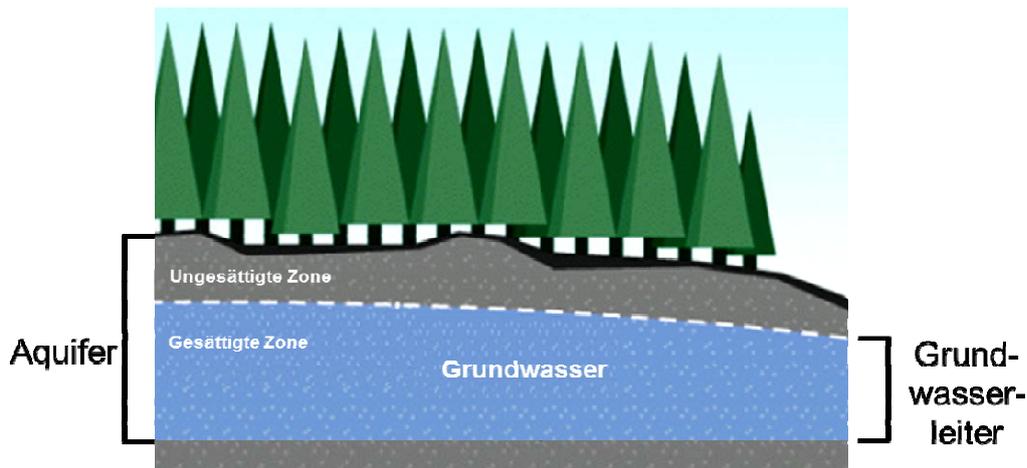


Abb.2: Unterschied zwischen Aquifer und Grundwasserleiter ([www.ogwa-hydrog.ca](http://www.ogwa-hydrog.ca), verändert)

## Basisabfluss

Siehe „Abflussganglinie“

## Beaufort-Skala

Die Beaufort-Skala wurde 1806 von dem englischen Admiral Sir Francis Beaufort (1774 – 1857) eingeführt. Mit ihrer Hilfe kann anhand der Auswirkungen des Windes die **Windstärke** geschätzt werden ([www.deutscher-wetterdienst.de](http://www.deutscher-wetterdienst.de)). 1949 wurde die Skala auf Beschluss der Internationalen Meteorologischen Organisation auf 18 Stufen erweitert ([www.goruma.de/](http://www.goruma.de/)). Für die Differenzierung von Windstärken oberhalb von 12 Beaufort werden aber gebräuchlicher Weise die **Saffir-Simpson-Hurricane Skala** und die **Fujitta-Tornado-Skala** verwendet ([www.meteo-media.de](http://www.meteo-media.de)).

Tab.2: Beaufort-Skala

Beaufort-grad	Bezeichnung	Mittl. Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe üb. freiem Gelände		Beispiele für die Auswirkungen des Windes im Binnenland	Beispiele für die Auswirkungen des Windes auf See
		m/s	km/h		
0	Windstille	0 – 0,2	< 1	Rauch steigt senkrecht auf	Spiegelglatte See
1	leiser Zug	0,3 – 1,5	1 – 5	Windrichtung angezeigt durch den Zug des Rauches	Schuppenförmige Kräuselwellen
2	leichte Brise	1,6 – 3,3	6 – 11	Wind im Gesicht spürbar, Blätter und Windfahnen bewegen sich	Kleine Wellen, Kämme brechen sich nicht
3	Schwache Brise, schwacher Wind	3,4 – 5,4	12 – 19	Wind bewegt dünne Zweige und streckt Wimpel	Wellenkämme beginnen sich zu brechen
4	mäßige Brise, mäßiger Wind	5,5 – 7,9	20 – 28	Wind bewegt Zweige und dünnere Äste, hebt Staub und loses Papier	Noch kleine Wellen, jedoch vielfach weiße Schaumköpfe
5	frische Brise, frischer Wind	8,0 – 10,7	29 – 38	kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumkronen bilden sich auf Seen	Mäßig lange Wellen mit Schaumkämmen
6	starker Wind	10,8 – 13,8	39 – 49	starke Äste schwanken, Regenschirme sind nur schwer zu halten, Telegrafentelegraphen pfeifen im Wind	Bildung großer Wellen, größere Schaumflächen

Beaufort-grad	Bezeichnung	Mittl. Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe üb. freiem Gelände		Beispiele für die Auswirkungen des Windes im Binnenland	Beispiele für die Auswirkungen des Windes auf See
		m/s	km/h		
7	steifer Wind	13,9 – 17,1	50 – 61	fühlbare Hemmungen beim Gehen gegen den Wind, ganze Bäume bewegen sich	See türmt sich, Schaumstreifen in Windrichtung
8	stürmischer Wind	17,2 – 20,7	62 – 74	Zweige brechen von Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien	Hohe Wellenberge, Gipfel beginnen zu versprühen
9	Sturm	20,8 – 24,4	75 – 88	Äste brechen von Bäumen, kleinere Schäden an Häusern (Dachziegel oder Rauchhauben abgehoben)	Dichte Schaumstreifen, rollende See, Gischt verweht, Sichtbehinderung
10	schwerer Sturm	24,5 – 28,4	89 – 102	Wind bricht Bäume, größere Schäden an Häusern	Sehr hohe Wellenberge, verbreitet weißer Schaum, Sicht beeinträchtigt
11	orkanartiger Sturm	28,5 – 32,6	103 – 117	Wind entwurzelt Bäume, verbreitet Sturmschäden	Außergewöhnlich hohe Wellenberge, Wellenkämme zu Gischt verweht, Sicht herabgesetzt
12	Orkan	32,7 – 36,9	118 – 133	schwere Verwüstungen	See vollständig weiß, Luft voller Schaum und Gischt, keine Fernsicht mehr
13	Orkan	37,0 – 41,4	134 – 149	schwere Verwüstungen	
14	Orkan	41,5 – 46,1	150 – 166	schwere Verwüstungen	
15	Orkan	46,2 – 50,9	167 – 183	schwere Verwüstungen	
16	Orkan	51,0 – 56,0	184 – 202	schwere Verwüstungen	
17	Orkan	über 56,0	über 202	schwere Verwüstungen	

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

<http://www.deutscher-wetterdienst.de>

<http://www.goruma.de/>

<http://www.meteo-media.de>

## Bemessungsregenspende

Die Bemessungsregenspende (auch Regenspende oder Berechnungsregenspende) ist eine Kenngröße zur Berechnung anfallender Regenwassermengen. Nach ihr werden die einzelnen Bauteile von Entwässerungsanlagen wie z. B. Kanäle bemessen. Die Angabe des Wertes erfolgt in Liter pro Sekunde und Hektar ( $l/(s \cdot ha)$ ) und wird wie folgt dargestellt:  $r_{(D,T)}$ , wobei D für die Regendauer und T für die **Jährlichkeit** steht ([www.baunetzwissen.de](http://www.baunetzwissen.de)).

Die Bemessungsregenspende kann von Ort zu Ort unterschiedlich sein und wird anhand von statistischen Auswertungen ermittelt. Eine häufig verwendete Grundlage liefert die „Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung - Auswertung des Deutschen Wetterdienstes“ (KOSTRA-DWD) ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)).

#### Quellen (Stand 28.10.13)

<http://www.baunetzwissen.de>

<http://www.dwd.de>

## Bemessungswasserstand

Der Bemessungswasserstand beschreibt den höchsten Grund- bzw. Hochwasserstand, der nach Möglichkeit aus langjährigen Beobachtungsdaten ermittelt wurde (DIN 18195-7 (DIN 2009)).

Im Bereich des Küstenschutzes werden häufig große Sturmflutereignisse zur Definition von Bemessungswasserständen herangezogen. So diente die Sturmflutkatastrophe von 1953 in den Niederlanden zur Festlegung einer empirischen Größe zur Bestimmung der Deichhöhen in Schleswig-Holstein. Dort wird von einem Sturmtidewasserstand ausgegangen, der statistisch gesehen einmal in 100 Jahren erreicht oder überschritten wird ([www.schleswig-holstein.de](http://www.schleswig-holstein.de)) (vgl. [Jährlichkeit](#)).

Mit der Modifizierung der DIN 19700 (DIN 2004) wurden die Bemessungsgrundlagen für Stauanlagen neu formuliert. Darauf aufbauend sind Aussagen über Hochwasserereignisse mit einer [Wiederkehrwahrscheinlichkeit](#) von bis zu 10.000 Jahren erforderlich. Da in den meisten Fällen allerdings nur Abflussaufzeichnungen für bestenfalls 100 Jahre vorliegen, sind die notwendigen Extrapolationen zwangsläufig mit erheblichen Unsicherheiten verbunden (MUNLV 2004).

### Quellen (Stand 28.10.13)

DIN (2009): DIN 18195-7: Bauwerksabdichtungen - Teil 7: Abdichtungen gegen von innen drückendes Wasser, Bemessung und Ausführung.

DIN (2004): Normenreihe für Stauanlagen DIN 19700.

MUNLV (2004): Ermittlung von Bemessungsabflüssen nach DIN 19700 in Nordrhein-Westfalen. – Merkblätter-Band 46, 52 S., [Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen]

## Dauerfrost

Siehe „Eistag“

## Dauerregen

Die genaue Definition eines Dauerregens hängt von der jeweiligen Klimazone ab. Dauerregen tritt in den Tropen, Subtropen und gemäßigten Breiten auf. Er kann mehrere Stunden bis Tage, selten auch mehrere Wochen dauern.

Als Dauerregen oder Landregen bezeichnet man in Mitteleuropa ein lang anhaltendes, ununterbrochenes Niederschlagsereignis. Die Intensität muss dabei mehr als 0,5 mm pro Stunde betragen und über einen Zeitraum von mindestens sechs Stunden anhalten ([scinexx 2004](#)).

Der Tropfendurchmesser beträgt bei einem Landregen ein bis drei Millimeter. Die mittlere Fallgeschwindigkeit liegt zwischen 150 und 400 cm/s (3,6 – 14,4 km/h) ([wetter.net](#)). Der DWD gibt als Schwellenwert für einen Dauerregen eine Regenmenge von mehr als 40 mm (40 l/m<sup>2</sup>) in 12 Stunden, bzw. mehr als 50 mm (50 l/m<sup>2</sup>) in 24 Stunden oder mehr als 60 mm (60 l/m<sup>2</sup>) in 48 Stunden an ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)).

### Quellen (Stand: 31.07.12)

scinexx: Eine kleine Regenkunde – Landregen. Springer-Verlag, Heidelberg, 2004

<http://www.wetter.net/>

<http://www.dwd.de>

## Direktabfluss

Siehe „Abflussganglinie“

## Dürre

Die Definitionen von Dürre sind wegen ihrer starken Abhängigkeit von Zeit und Raum sowie aufgrund ihrer Auswirkungen sehr vielfältig (HEINRICH & GOBIET 2011). Wilhite & Glantz (1985) fanden mehr als 150 publizierte Definitionen für Dürre, die auf verschiedene Klassifikationen zurückgreifen. Einige der am häufigsten verwendeten Definitionen sind bei TATE & GUSTARD (2000) oder DEMUTH & BAKENHUS (1994) zusammengefasst.

Dürre ist ein extremer, über einen längeren Zeitraum herrschender Zustand, in dem aus hydrologischer, landwirtschaftlicher oder ökologischer Sicht weniger Wasser verfügbar als erforderlich ist. Dies schließt auch den Wasserbedarf von Organismen mit ein. Dürre ist jedoch ein relativer Begriff, der in Bezug zu den regionalen Niederschlagsverhältnissen gesehen wird. Deshalb muss bei jeder Diskussion der Bezug zu den regionalen Verhältnissen hergestellt werden (IPCC 2012).

Aus statistischer Sicht ist Dürre ein seltenes Extremereignis und tritt mit einer bestimmten Wiederkehrwahrscheinlichkeit auf. Dürren grenzen Zeiten ab, in denen die Wasserverfügbarkeit bezogen auf die langjährige Verteilung sehr gering ist (METTE et al. 2011). Im Gegensatz dazu grenzt die Aridität Räume ab, in denen die Verdunstungsmenge immer höher ist, als die Niederschlagsmenge, wodurch generell eine geringe Wasserverfügbarkeit normal ist.

Nach der allgemeinen Definition sind Dürren nur bedingt als Naturkatastrophen anzusehen, da sie zwar mit dem Fehlen von Niederschlägen beginnen, aber nicht plötzlich und unerwartet hereinbrechen. Dass die Folgen von Dürren oft ein katastrophales Ausmaß annehmen, hat seine Ursachen überwiegend in organisatorischen, administrativen und politischen Problemen (PLAPP 2003).

Tab.3: Dürre-Intensitäten nach dem U.S. National Weather Center (METTE et al. 2011)

Dürregrad	Wiederkehr [Jahre]	Mögliche Folgen	PDSI	SPI
Milde Dürre	3 – 4	Geringe Drosselung des Wachstums; erhöhtes Feuerrisiko; möglicher Beginn (Ende) einer Dürre	-1,0 bis -1,9	-0,5 bis -0,7
Mäßige Dürre	5 – 9	Getreideschäden; hohes Feuerrisiko; Rückgang der Wasserstände	-2,0 bis -2,9	-0,8 bis -1,2
Starke Dürre	10 – 17	Ernteeinbußen; sehr hohes Feuerrisiko; Wassermangel	-3,0 bis -3,9	-1,3 bis -1,5
Extreme Dürre	18 – 43	Ernteauffälle; extremes Feuerrisiko; großflächiger Wassermangel	-4,0 bis -4,9	-1,6 bis -1,9
Exzeptionelle Dürre	>43	Großflächige Ernteauffälle; Feuergefahr; Erschöpfung von Wasservorräten	ab -5,0	ab -2,0

PDSI: Palmer Drought Severity Index, SPI: Standard Precipitation Index

Nach WILHITE & GLANZ (1985) können fachspezifische Variablen zur Definition der Dürre-Art verwendet werden. In der Meteorologie ist der Niederschlag gebräuchlich, wohingegen die Hydrologie die Abflussmenge oder die Landwirtschaft die Bodenfeuchte verwendet. Die

Vorstellung von Dürre ist jedoch relativ, wobei sich die Abnahme der Wasserverfügbarkeit auf eine bestimmte Zeitperiode und ein bestimmtes Gebiet beziehen muss ([BERAN & RODIER 1985](#)).

Dürre ist die Umschreibung für eine lang anhaltende Trockenheit, deshalb wird die allgemeine Abnahme der Wasserverfügbarkeit zunächst nur als Trockenheit angesehen. Der Übergang zur Dürre ist in der Literatur auf unterschiedliche Weise definiert. Die Definitionen lassen sich dazu in fünf Gruppen einteilen: Meteorologische Dürre, landwirtschaftliche Dürre, hydrologische Dürre, Grundwasser-Dürre und sozio-ökonomische Dürre:

### **Meteorologische Dürre**

Die Meteorologische Dürre wird anhand von Niederschlagsmenge und einem gewählten Messzeitraum definiert. Die zugehörigen Schwellenwerte sind standort- oder regionenspezifisch und hängen von der jeweiligen Fragestellung ab. Deshalb ist es nicht immer möglich, Dürren in verschiedenen Regionen miteinander zu vergleichen.

[HEM \(2002\)](#) stellte in seiner Arbeit statistische Herangehensweisen dahingehend zusammen, wie früher Dürren definiert wurden, beispielsweise:

- 1) 21 oder mehr Tage mit einem Niederschlag von weniger als einem Drittel der normalen Niederschlagsmenge
- 2) Monatliche Niederschläge, die weniger als 60% der normalen Menge betragen
- 3) Jahresniederschlagsmenge, die weniger als 75% der normalen Menge beträgt

Allerdings wird die statistische Herangehensweise wegen der meist zu kurzen verfügbaren Messreihen von einigen Wissenschaftlern kontrovers diskutiert ([BERAN & RODIER 1985](#)).

In Abhängigkeit von der Dauer, kann die meteorologische Dürre zur landwirtschaftlichen oder hydrologischen Dürre führen.

### **Landwirtschaftliche oder Bodenfeuchte Dürre**

Von einer landwirtschaftlichen oder Bodenfeuchte Dürre wird gesprochen, wenn ein Niederschlagsdefizit in Verbindung mit hohen Verdunstungswerten auftritt. Dadurch ist die Bodenfeuchtigkeit in einem Agrargebiet ab einem bestimmten Zeitpunkt nicht ausreichend, um eine durchschnittliche landwirtschaftliche Produktion von Nutzpflanzen zu gewährleisten. Eine landwirtschaftliche Dürre kann nur während der Vegetationsperiode auftreten. Außerhalb der Vegetationsperiode kann darüber hinaus die sogenannte [Frostrocknis](#) oder [Winterdürre](#) auftreten.

### **Hydrologische Dürre**

Die hydrologische Dürre charakterisiert den Zustand, wenn die Wasserreserven in Seen oder Wasserspeichern unter einen festgelegten Schwellenwert wie einen statistischen monatlichen Durchschnittswert oder einen definierten Wasserstand fallen. Niederschlagsdefizite führen in Einzugsgebieten zur Abflussminderung, bis der Abfluss nur noch durch das Grundwasser gespeist wird. Im weiteren Verlauf werden die Grundwasserspeicher weiter aufgebraucht, was letztendlich zur Grundwasser-Dürre (groundwater drought) führt.

Nach [WILHITE UND GLANZ \(1985\)](#) lässt sich die hydrologische Dürre im Hinblick auf ihre sektoralen Auswirkungen in sechs Klassen einteilen. Meistens umfassen die Studien zu hydrologischen Dürren Zeiträume von über drei Monaten. Aber auch kurzfristige Abflussdefizite (< 3 Monate) können als Dürren definiert und behandelt werden ([ZELENHASIC & SALVAI 1987](#)). [TALLAKSEN & HISDAL \(1997\)](#) weisen darüber hinaus darauf hin, dass zwischen einer Sommerdürre und einer Winterdürre unterschieden werden muss. Während im

Sommer geringe Niederschlagsmengen zu niedrigen Abflüssen führen, werden im Winter die Niederschläge als Schnee und Eis zurückgehalten und können dadurch nicht direkt zum Abflussgeschehen beitragen.

Tab.4: Hydrologische Dürre, Klassifikation von WILHITE UND GLANZ (1985)

Typ	Klassifikation
1	3-wöchiges bis 3-monatiges Abflussdefizit in der Zeit der Keimung und des Pflanzenwachstums mit möglichen katastrophalen Folgen für die Landwirtschaft, die von der Fluss-Bewässerung abhängig ist
2	Minimale Abflussmenge signifikant unterhalb des langjährigen normalen Niedrigwasserabflusses, mit geringer Verschiebung zur Vegetationsperiode. Da die Keimung nicht beeinträchtigt ist, hat diese Dürre nur geringe Bedeutung für die Landwirtschaft.
3	Erhebliches Defizit im jährlichen Gesamtabfluss mit Auswirkungen auf die Stromerzeugung aus Wasserkraft sowie die Bewässerung aus großen Stauseen.
4	Flusswasserstand unterhalb des jährlichen normalen Wasserstandes, dies kann zum Einsatz von Pumpen für die Bewässerung führen. Diese Dürreart ist im Zusammenhang mit Typ 3 zu sehen (Defizit im jährlichen Abfluss).
5	Dürre, die sich über mehrere aufeinanderfolgende Jahre erstreckt. Abflussmengen bleiben unterhalb eines niedrigen Schwellenwertes bzw. Flüsse trocknen vollständig und für längere Zeit aus
6	Signifikante Leerung des Grundwasserspeichers. Der Vorgang ist nur schwer quantitativ zu erfassen, da die natürliche Grundwasserabsenkung durch die anthropogene Übernutzung überlagert wird.

Die Definition eines Abfluss-Dürre-Ereignisses wird benutzt, um Abflüsse in der Dürrezeit zu identifizieren und den Zeitraum der Dürre erfassen zu können. Dazu werden im Allgemeinen Schwellenwerte verwendet (TALLAKSEN 2000). Genutzt wird diese Vorgehensweise im Bereich der Wasserkrafterzeugung, dem Wassermanagement sowie dem Betrieb von Wasserversorgungs- oder Bewässerungssystemen. In der Binnenschifffahrt bedeutet dagegen die Unterschreitung von Niedrigwasserkennwerten nicht, dass die Schifffahrt eingestellt wird. Während bei Hochwasserextremen die zuständigen Behörden Beschränkungen oder die Einstellung der Schifffahrt anordnen, ist bei Niedrigwasser jeder Schiffsführer selbst dafür verantwortlich in Kenntnis der Abmessungen seines Schiffes die Fahrt ohne Grundberührung durchzuführen ([www.bafg.de](http://www.bafg.de)).

Die Angaben zur Beschreibung von Dürreperiode können ebenfalls variieren, z. B. Beginn der Dürre, Abfluss-Mittelwert in Verbindung mit dem Beginn und Ende der Dürre oder aber auch Datumsangaben mit den jeweiligen minimalen Durchflussmengen. Häufig wird auch ein Dürre-Index verwendet, der sich aus dem Verhältnis von Dürre-Defizit-Volumen und Dürre-Dauer zusammensetzt.

## Grundwasser-Dürre

Von Grundwasser-Dürre wird gesprochen, wenn der sinkende Grundwasserspiegel einen kritischen Stand erreicht. Trotz seiner großen hydrologischen Bedeutung wird das Grundwasser bei vielen Dürre-Analysen ignoriert. Demzufolge existieren in der Literatur nur wenige Definitionen.

CALOW et al. (1999) gebrauchen den Terminus, um eine Situation zu beschreiben, in der z. B. Brunnen trocken fallen. Die Definition schließt somit den menschlichen Wasserbedarf mit ein. VAN LANEN & PETERS (2000) folgern in ihrer Arbeit, dass eine Grundwasser-Dürre dann auftritt, wenn die Grundwasserstände über einen bestimmten Zeitraum unter einen kritischen Wasserstand fallen, der über Perzentile des Grundwasser-Hydrographen ermittelt werden kann.

Das Unterschreiten eines kritischen Wasserstandes hat sichtbare negative umweltrelevante oder sozio-ökonomische Folgen, wie das Versiegen von Quellen oder der verringerte Abfluss von grundwassergespeisten Bächen. In einigen Ländern wie Großbritannien oder den Niederlanden werden deshalb Grundwasserstände beobachtet, um aufkommende Grundwasser-Dürren frühzeitig feststellen zu können. In den Niederlanden wird der Begriff „Grundwasser-Dürre“ jedoch nicht explizit verwendet.

Zur Untersuchung von Grundwasser-Dürren werden die Grundwasserneubildung, Grundwasserstände und der Grundwasserzustrom herangezogen (TATE & GUSTARD 2000). Ebenso kann die Ausdehnung der gesättigten Zone oder der Fläche von Feuchtgebieten berücksichtigt werden. Die zeitliche Verzögerung zwischen einer meteorologischen Dürre und einer hydrologischen Dürre kann Monate oder sogar Jahre betragen. Da sich das Grundwasserreservoir nur langsam wieder auffüllt, sind die Auswirkungen einer Dürre im Grundwasser erst lange nach dem Ende der meteorologischen Dürre beendet.

### Sozio-ökonomische Dürre

Von einer sozio-ökonomischen Dürre wird gesprochen, wenn es zu einem Versagen der Wasserversorgung kommt, d. h. wenn der Bedarf nicht mehr ausreichend gedeckt werden kann. Dies tritt z. B. ein, wenn der Wasserverbrauch der Bevölkerung die natürlich vorhandenen und regenerierbaren Wasservorräte übersteigt (CUTTER 2001). Neben hydrologischen Ursachen können Planungsfehler und Missmanagement Auslöser dieses Dürretyps sein (SÁNCHEZ et al. 2000).

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

- Beran, M. A. & Rodier, J. A. (1985): Hydrological Aspects of Drought. - WMO-UNESCO Panel Report, Studies and Reports in Hydrology, 149 p.
- Calow, R., Robins, N., Macdonald, A. & Nicol, A. (1999): Planning for groundwater drought in Africa. – In: Proc. of Int. Conference on Integrated Drought Management: Lessons for Sub-Saharan Africa. Technical Documents in Hydrology, No. 35, IHP-V: 255–270.
- Cutter, S. L. [ed.] (2001): American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters. – Natural Hazards and Disasters Series, 211 S.
- Demuth, S. & Bakenhus, A. (1994): Hydrological Drought - A literature review. – Internal Report of the Institute of Hydrology, University of Freiburg, Germany.
- Heinrich, G. & Gobiet, A. (2011): The future of dry and wet spells in Europe: A comprehensive study based on the ENSEMBLES regional climate models. – Int. J. Climatol., published online: DOI: 10.1002/joc.2421
- Heim, R. R., Jr. (2002): A review of twentieth-century drought indices used in the United States. - Bull. Am. Meteor. Soc. 83 (8), 1149–1165.
- IPCC (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- Mette, T., Rötzer, T. & Pretzsch, H. (2011): Ein Dürre-Index für die Forstwirtschaft. – LWL aktuell, 85, 19-21.
- Plapp, T. (2003): Wahrnehmung von Risiken aus Naturkatastrophen. Eine empirische Untersuchung in sechs gefährdeten Gebieten Süd- und Westdeutschlands. - Diss. Uni-Karlsruhe, 349 S.
- Sánchez, S., Solera, A. & Andreu, J. (2000): Gestión de sistemas de recursos hídricos basado en la evaluación del riesgo de sequía. – Proc. XIX congreso Latinoamericano de Hidráulica, pp. 655-664.
- Tallaksen, L. M. & Hisdal, H. (1997): Regional analysis of extreme streamflow drought duration and deficit volume. – In: Gustard et al. [eds.]: FRIEND'97-Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management 141-150. IAHS Publ. no. 246.
- Tallaksen, L.M. (2000): Streamflow drought frequency analysis. – In: Vogt, J. V. & Somma, F. [eds.]: Drought and Drought Mitigation in Europe, 103-117.
- Tate, E. L. & Gustard, A. (2000): Drought definition: a hydrological perspective. – In: Vogt, J. V. & Somma, F. [eds.]: Drought and Drought Mitigation in Europe, 23-48.
- Lanen, H. A. J. van & Peters, E. (2000): Definition, effects and assessment of groundwater droughts. – In: Vogt, J. V. & Somma, F. [eds.] Drought and Drought Mitigation in Europe, 49-61.
- Wilhite D. A. & Glantz M. H. (1985): Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. – Water International 10 (3): 111–120.
- Zelenhasic, E. & Salvai, A. (1987): A Method of Streamflow Drought Analysis. – Wat. Resour. Res., 23 (1), 156-168.
- <http://www.bafg.de>

## Dürre, Index

Dürre-Indices sind unverzichtbare Hilfsmittel, um Dürren zu erkennen, zu überwachen und zu bewerten. Es gibt jedoch keinen universellen Dürre-Index. Vielmehr existieren viele Indices, die nach Gebietsgröße, Lage des Gebietes oder sektoralen Kriterien entwickelt wurden. Sammlungen von Dürre-Indices sind [HEIM \(2000, 2002\)](#), [VOGT & SOMMA \(2000\)](#) bzw. [HAYES et al. \(2007\)](#) zu entnehmen.

Die Dürre-Indices (DI) wurden von [NIEMEYER \(2008\)](#) in sechs Hauptgruppen eingeteilt: a) meteorologische DI, b) umfangreiche DI, c) landwirtschaftliche DI, d) hydrologische DI, e) auf Fernerkundung basierende DI, f) kombinierte DI.

### Meteorologische Dürre-Indices

Die Wasserverfügbarkeit ist eine zentrale Größe bei der Beurteilung von Dürren. Da der Niederschlag die wichtigste Wasserquelle ist, stützte sich die erste Generation der Dürre-Indices im Wesentlichen auf meteorologische Variablen, die an *synoptischen Wetterstationen* beobachtet wurden.

Die einfachste Vorgehensweise zur Index-Berechnung ist die Verwendung der Wasserbilanz, wobei von der monatlichen Niederschlagssumme die Monatssumme der [potentiellen Evapotranspiration](#) abgezogen wird (vgl. [BIGLER et al. 2006](#)). Nachfolgend werden BLUMENSTOCKS' s Index, die Dezil-Methode von [GIBBS & MAHER \(1967\)](#), der Dürreindex von [KÖNIG & MAYER \(1989\)](#) und der „Standard Precipitation Index“ detaillierter betrachtet.

Tab.5: Übersicht meteorologischer Dürre-Indices

Index	Abk.	Quelle
BLUMENSTOCK` s Index		<a href="#">BLUMENSTOCK (1942)</a>
Rainfall Anomaly Index ( <i>Niederschlag-Anomalie-Index</i> )	RAI	<a href="#">VAN ROOY (1965)</a>
Dezil-Methode		<a href="#">GIBBS &amp; MAHER (1967)</a>
PED` s Index ( <i>Index von PED</i> )	Si	<a href="#">PED (1975)</a>
BHALME & MOOLEY Drought Index ( <i>Dürre Index von BHALME &amp; MOOLEY</i> )	BMDI	<a href="#">BHALME &amp; MOOLEY (1980)</a>
Standardized Anomaly Index of KATZ & GLANTZ ( <i>Standardisierter Anomalie-Index von KATZ &amp; GLANTZ</i> )		<a href="#">KATZ &amp; GLANTZ (1986)</a>
Dürreindex für Waldschäden		<a href="#">KÖNIG &amp; MAYER (1989)</a>
PÁLFAL Aridity Index ( <i>Ariditäts-Index von PÁLFAL</i> )	PAI	<a href="#">PÁLFAL(1991)</a>
Drought Severity Index ( <i>Index für "Schwere Dürre"</i> )	DSI	<a href="#">BRYANT et al. (1992)</a>
Standardized Precipitation Index ( <i>Standardisierte Niederschlag-Index</i> )	SPI	<a href="#">MCKEE et. al (1993)</a>
Trockenheitsindex nach BRUSCHEK		<a href="#">BRUSCHEK (1994)</a>
Effective Drought Index ( <i>Index für "Tatsächliche Dürre"</i> )	EDI	<a href="#">BYUN &amp; WILHITE (1999)</a>
Monthly Drought Index ( <i>Monatliche Dürre Index</i> )		<a href="#">BIGLER et al. (2006)</a>
Reconnaissance Drought index ( <i>Informierender Dürre Index</i> )	RDI	<a href="#">TSAKIRIS et al. (2007)</a> (Erweiterung von SPI)
Precipitation Potential Evaporation Anomaly ( <i>Niederschlag-Potentielle Evaporation-Anomalie</i> )	PPEA	<a href="#">BURKE &amp; BROWN (2008)</a>
ELLENBERG` s Drought Index ( <i>Dürre Index von ELLENBERG</i> )	EQ	<a href="#">MÁTYÁS et al. (2010)</a> (forest vegetation)

### Blumenstock` s Index

Der Index basiert auf der Definition von [BLUMENSTOCK \(1942\)](#), nachdem eine Trockenheit als beendet anzusehen ist, wenn 2,54 mm (=0,10 Inch) Niederschlag innerhalb von 48 Stunden gefallen sind.

### **Trockenheitsindex nach BRUSHEK**

Der Trockenheitsindex nach BRUSCHEK (1994) ist ein jährlicher Index, der sich aus der Niederschlagssumme, dividiert durch die Anzahl der Sommertage errechnet.

### **Dezil-Methode**

Die Dezil-Methode ist ein einfaches Verfahren, um mit monatlichen Niederschlagsdaten ein Dürre-Monitoring durchzuführen. Das Verfahren wurde von GIBBS & MAHER (1967) entwickelt, um die Schwächen eines prozentbezogenen Ansatzes zu umgehen. Bei der Durchführung der Dezil-Methode unterteilt man die langjährigen Ereignisse in Kategorien (Dezile). Per Definition entspricht das fünfte Dezil dem *Median* und nicht der halben Niederschlagsmenge (50%).

Diese Vorgehensweise wird im australischen Dürre-Überwachungssystem (drought watch system) eingesetzt. Im Falle einer Dürre können Landwirte und Viehzüchter jedoch nur dann staatliche Hilfe beantragen, wenn ein Dürre-Ereignis mit einer Wiederkehrrate von 20 bis 25 Jahren auftritt (Dezile 1 und 2 eines 100-jährigen Eintrags) und gleichzeitig länger als 12 Monate andauert (WHITE & O'MEAGHER 1995).

Das einheitliche Klassifikationsverfahren zeigt deutliche administrative Vorteile gegenüber Verfahren, die Prozentangaben von Niederschlagsmengen betrachten. Ein Nachteil des Dezil-Ansatzes ist die Notwendigkeit, auf lange klimatologische Zeitreihen zurückgreifen zu müssen.

Tab.6: Dürre-Klassifikation auf Basis der Dezil-Methode

Dezile	Klasse
Dezile 1 – 2, 0% – 20%	Weit unter Normalzustand
Dezile 3 – 4, 21% – 40%	Unter Normalzustand
Dezile 5 – 6, 41% – 60%	Nahe Normalzustand
Dezile 7 – 8, 61% – 80%	Über Normalzustand
Dezile 9 – 10, 81% – 100%	Weit über Normalzustand

### **Dürre-Index für Waldschäden (KÖNIG & MAYER 1989)**

Zur Untersuchung der klimatisch bedingten Waldschäden in Bayern definierten KÖNIG & MAYER (1989) einen Dürre-Index, nach dem an mindestens 10 aufeinanderfolgenden Tagen die tägliche Niederschlagssumme unter 5 mm/d und das Tagesmittel der Lufttemperatur in 2 m Höhe über 20°C sein muss.

### **Standard Precipitation Index (SPI)**

Der standardisierte Niederschlag-Index (SPI) ist ein robuster Index zur Beschreibung von Dürren. Er wurde vom Colorado Climate Center entwickelt, um Dürreereignisse definieren und überwachen zu können (McKee et al. 1993). Der SPI basiert auf aktuellen und historischen Niederschlagsdaten. Die daraus berechneten Werte geben die Abweichung von einem Durchschnittswert an. Der SPI wird für mehrere Zeiträume berechnet, die zwischen einem Monat und bis zu 2 Jahren umfassen können. Damit können kurz- und langfristige Entwicklungen erfasst und der Beginn sowie das Ende jeder Dürre, einschließlich der monatlichen Intensität, identifiziert werden.

Der SPI betrachtet nur den Parameter Niederschlagsmenge und ermittelt daraus standardisierte Eintrittswahrscheinlichkeiten. Der Wert „0“ ist der *Median* des Niederschlagswertes, d.h. die Hälfte der historischen Niederschlagsmengen liegt unter dem *Median*, die andere Hälfte darüber.

Tab.7: Dürre-Klassifikation auf SPI-Basis (LOUCKS et al. 2006)

SPI	Klasse
≥2,0	Extrem nass
1,5 bis 1,99	Sehr nass
1,0 bis 1,49	Mäßig feucht
-0,99 bis 0,99	Normalzustand
-1,49 bis -1,0	Mäßig trocken
-1,99 bis -1,5	Schwere Dürre
≤ -2,00	Extreme Dürre

## Hydrometeorologische Dürre-Indices

Die nutzbare Wasserspeicherkapazität des Bodens kann Niederschlagsdefizite mehr oder weniger stark ausgleichen. Deshalb ist die Bodenwasserverfügbarkeit ebenfalls eine wichtige Komponente, die es zu betrachten gilt.

Tab.8: Hydrometeorologische Dürre-Indices

Index	Abk.	Quelle
PALMER drought severity index (Schwere Dürre Index von PALMER)	PDSI	PALMER (1965)
- PALMER modified drought index (modifizierter Dürre Index von PALMER)	PDMI	
- PALMER hydrological drought index (hydrologischer Dürre Index von PALMER)	PHDI	
- Z-index (Guter Indikator für landwirtschaftliche Dürre)		QUIRING & PAPAKEYIAKOU (2003), TRNKA et al. (2007)
- Self calibrated PDSI (selbstkalibrierter PDSI)	scPDSI	WELLS et al. (2004)
- Self calibrated PDSI with snow modul (selbstkalibrierter PDSI mit Schnee-Modul)	scPDSI	VAN DER SCHRIER et al. (2007)
- PDSI with modified potential evapotranspiration derivation (PDSI mit modifizierter potentieller Verdunstungsableitung)		BURKE et al. (2006), MAVROMATIS (2007)
KEETCH-BYRAM drought index (Dürre Index von KEETCH & BYRAM)	KBDI	KEETCH & BYRAM (1968)
Aggregate drought index (Aufsummierter Dürre Index)	ADI	KEYANTASH & DRACUP (2004)

Mit der Entwicklung des „Palmer Drought Severity Index“ (PALMER 1965) wurden neben meteorologischen Parametern auch Elemente des Wasserkreislaufs berücksichtigt. NIEMEYER (2008) fasst diesen und ähnliche Indices als „comprehensive drought indices“ zusammen.

Je nach den verwendeten Verfahren werden hydrologische Parameter wie die Abflussmenge bzw. Änderungen des Grundwasserspeichers verwendet oder man greift auf Informationen der Landoberfläche wie Evapotranspiration, Bodenfeuchte oder Schneemenge zurück. Als Beispiele werden der „Palmer Drought Severity Index“ und „KEETCH-BYRAM Drought Index“ genauer betrachtet.

### PALMER Drought Severity Index (PDSI)

Der „Schwere Dürre“- Index von PALMER oder PALMER Drought Severity Index (PDSI) ist ein häufig benutztes Maß, um basierend auf Niederschlag- und Temperaturwerten Aussagen über den Grad der Trockenheit treffen zu können.

Tab.9: Klassifikation der aktuellen Wetterbedingungen nach PDSI (ALLEY 1984)

PDSI	Klasse	PDSI	Klasse
≥4,00	Extrem nass	-0,50 bis -0,99	Beginnende Dürre-Periode
3,00 bis 3,99	Sehr nass	-1,00 bis -1,99	Milde Dürre
2,00 bis 2,99	Mäßig nass	-2,00 bis -2,99	Mäßige Dürre
1,00 bis 1,99	Leicht feucht	-3,00 bis -3,99	Schwere Dürre
0,50 bis 0,99	Beginnende nasse Periode	≤ -4,00	Extreme Dürre
0,49 bis -0,49	Normal		

Der PDSI wurde Mitte der 60er-Jahre entwickelt (PALMER 1965) und nachfolgend mehrfach modifiziert. Der PDSI ist mit einigen Anpassungen auch heute noch der gebräuchlichste Dürre-Index in den Vereinigten Staaten. Seit 2007 wird er monatlich für die gesamte Welt durch das UCL Department Space and Climate Physics in Form des Globalen Dürre-Monitors („Global Drought Monitor“) zur Verfügung gestellt.

Der Index gibt die Abweichung der Feuchteversorgung ausgehend von normalen Bedingungen an. Die Feuchteversorgung wird über die monatlichen Größen Niederschlag und Temperatur eines Zwei-Schicht-Boden-Modells sowie lokal verfügbarer Messwerte der Bodenfeuchte ermittelt.

Als Schwachstellen des Modellansatzes erweist sich, dass anthropogene Einflüsse wie etwa die künstliche Bewässerung nicht berücksichtigt werden. Darüber hinaus werden Prozesse wie die Schnee-Akkumulation oder die Schneeschmelze sowie der Einfluss gefrorener Böden von dem Modell ebenfalls vernachlässigt.

#### **KEETCH-BYRAM Drought Index (KBDI)**

Der KEETCH-BYRAM Dürre-Index (KBDI) wurde zur Vorhersage der Waldbrandgefahr entwickelt (KEETCH & BYRAM 1968).

Um den KBDI zu berechnen, werden lediglich die tägliche Maximaltemperatur und tägliche Gesamtniederschlagsmenge benötigt. Aus diesen Größen wird die **Evapotranspiration** oder der Feuchtigkeitsverlust einer bewachsenen Fläche berechnet.

Durch einen mathematischen Ansatz wird das Verhältnis zwischen dem Feuchteverlust des Bodens und dem Laubstreuanteil abgeschätzt. Die Vegetationsdichte wird hierbei durch die durchschnittliche Feuchtigkeitsverfügbarkeit wiedergegeben.

Tab.10: Allgemeine Beschreibung für relative KBDI-Stufen (SERCC 2002, USDA 2002)

KBDI -Werte	Allgemeine Beschreibung
0 – 150	Oberboden und Bodenstreu sind nass. Feuergefahr ist minimal
150 – 300	Oberboden und Bodenstreu sind feucht und tragen nicht dazu bei, die Intensität des Feuers zu erhöhen. Teile des Einstreus werden vom Brand nicht erfasst. Das Brandverhalten ist vorhersagbar.
300 – 500	Oberboden und Bodenstreu sind trocken und können zum Brand beitragen. Das Feuer verzehrt den größten Teil des Einstreus mit einem signifikanten Verlust des organischen Bodenmaterials. Das Feuer ist zwar schwer zu kontrollieren, das Brandverhalten ist in gewisser Weise vorhersagbar.
500 – 700	Oberboden und Bodenstreu sind sehr trocken. Oberhalb von KBDI= 600 tritt schwere Dürre auf. Das Oberbodenmaterial und das Einstreu tragen zum Brand bei. Das gesamte Einstreu und das meiste organische Bodenmaterial werden vom Feuer zerstört. Die Brandbekämpfung ist schwierig.
700 – 800	Oberboden und Bodenstreu sind extrem trocken. Die Waldebene zwischen Boden- und Kronenbereich verbrennt aktiv und trägt zum Brand bei. Auftreten von extremer Dürre und erhöhtes Auftreten von Flächenbränden. Das Feuer ist unberechenbar, trotz Beobachtung der Baumbekronung und der Windrichtung.

## Agrarwirtschaftliche Dürre-Indices

Ausgehend von Indices, die als Eingabegrößen die Bodenfeuchte und die [aktuelle Evapotranspiration](#) benötigen, führte die weitere Entwicklung zu expliziten agrarwirtschaftlichen, zum Teil kulturspezifischen Dürre-Indices. Als Beispiele sind der Aridity Anomaly Index, der „Crop Moisture Index (CMI)“, der „Crop Water Stress Index (CWSI) und der „Moisture Adequacy Index (MAI) detaillierter aufgeführt.

Tab.11: Agrarwirtschaftliche Dürre-Indices

Index	Abk.	Quelle
SELYANINOV Hydrothermal Coefficient ( <i>Hydrothermaler Koeffizient von SELYANINOV</i> )	HTC	<a href="#">SELYANINOV (1928)</a>
Moisture Adequacy Index Index zur Berechnung angemessener Feuchte	MAI	<a href="#">MCGUIRE &amp; PALMER (1957)</a>
Crop Moisture Index (based on PDSI) ( <i>Nutzpflanzen Feuchte Index (basiert auf PDSI)</i> )	CMI	<a href="#">PALMER (1968)</a>
Soil moisture drought index ( <i>Bodenfeuchte Dürre Index</i> )	SMDI	<a href="#">HOLLINGER et al. (1993)</a>
Crop Specific Drought Index, application to corn ( <i>Pflanzenspezifischer Dürre Index, für Mais</i> )	CSDI	<a href="#">MEYER et al. (1993)</a>
Crop Specific Drought Index, application to soybean ( <i>Pflanzenspezifischer Dürre Index, für Sojabohnen</i> )	CSDI	<a href="#">MEYER &amp; HUBBARD (1995)</a>
Crop Water Stress Index ( <i>Pflanzen-Wasserstress Index</i> )	CWSI	<a href="#">RAO &amp; SAXTON 1995</a>
Aridity Anomaly Index ( <i>Trockenheit-Anomalie Index</i> )		<a href="#">KUMAR &amp; PANU 1997</a>
Evapotranspiration Deficit Index ( <i>Evapotranspiration Defizit index</i> )	ETDI	<a href="#">NARASIMAHAN &amp; SRINIVASAN (2005)</a>
Regional Agricultural Drought Index ( <i>Regionaler Landwirtschaft Dürre Index</i> )	DTx	<a href="#">MARLETTO et al. (2005)</a>
Standardized Deficit Index ( <i>Standardisierter Defizit Index</i> ) - Pflanzen: Wasserangebot und -nachfrage	SDI	<a href="#">VERGNI &amp; TODISCO (2010)</a>

## Aridity Anomaly Index

Der Trockenheit-Anomalie Index basiert auf der Wasserbilanzberechnung von [THORNTHWAITE & MATHER \(1955\)](#) und beschreibt die Verschiebung des Normalzustandes, angegeben in Prozent.

Das Indian Meteorological Department benutzt diese Methode unter Berücksichtigung der Bodenfeuchte zur Beschreibung der Trockenheitsverhältnisse. Die Berechnung der Anomalien wird durchgeführt, um das Auftreten landwirtschaftlicher Dürren in wöchentlichem bzw. vierzehntägigem Abstand in Echtzeit überwachen zu können. Diese Vorgehensweise bietet den Vorteil, dass der Feuchtigkeitsstress wachsender Pflanzen direkt beurteilt werden kann ([KUMAR & PANU 1997](#)).

Der Aridity Anomaly Index zeigt das Wasserdefizit in einer Region an, wobei jedoch die Anforderungen einzelner Pflanzen sowie geographische Gegebenheiten nicht berücksichtigt werden. Zudem wird bei der Betrachtung der [klimatischen Wasserbilanz](#) die Wassersättigung des Bodens außer Acht gelassen.

Tab.12: Dürre-Kategorien des Trockenheit-Index

Dürre-Kategorie	Trockenheitanomalie
Leichte Dürre (mild drought)	Bis zu 25%
Gemäßigte Dürre (moderate drought)	26 – 50%
Schwere Dürre (severe drought)	Über 50%

### **Crop Moisture Index**

Der Crop Moisture Index (CMI) ist eine Weiterentwicklung des PDSI (PALMER 1968). Das Berechnungsverfahren verwendet einen meteorologischen Ansatz, um kurzfristige Feuchteveränderungen überwachen zu können. Dies ist besonders in Regionen, in denen landwirtschaftlich genutzte Kulturpflanzen angebaut werden, von großer Bedeutung.

Als Eingangsgrößen werden die mittlere Temperatur und die mittleren wöchentlichen Niederschlagsmengen verwendet, wobei eine Gewichtung nach Ort und Zeit erfolgt. Der Index kann zum Vergleich lokaler Feuchtebedingungen herangezogen werden.

Das Verfahren zielt auf kurzfristige Veränderungen ab, für Langzeitbetrachtungen eignet es sich nicht. So kann beispielsweise ein Niederschlag während einer Dürreperiode dazu führen, dass die Feuchtebedingungen kurzfristig als ausreichend angesehen werden, wohingegen die Dürre aber langfristig gesehen weiterhin vorherrscht. Ein weiteres Charakteristikum des Verfahrens besteht darin, dass sich der CMI zu Beginn und am Ende der **Vegetationsperiode** dem Wert 0 annähert. Aus diesem Grund ist seine Anwendung zu Beginn der Vegetationsperiode, wenn die Saatkeimung einsetzt, nur begrenzt möglich.

### **Crop Water Stress Index**

Der Pflanzen-Wasserstress Index (CWSI) basiert auf integrativen Tageswerten, die das pflanzenverfügbare Bodenwasser, Verdunstungsanforderung und die Empfindlichkeit der phänologischen Phasen der jeweiligen Pflanze berücksichtigen (RAO & SAXTON 1995).

Zur Berechnung des Index benötigt man ein dynamisches Boden-Pflanze-Atmosphären-Wasser Modell, um die Bodenwassergehalte simulieren und die Transpiration der Pflanze berechnen zu können. Das Modell muss dabei für jede Kulturart und jeden Standort neu kalibriert werden.

### **Moisture Adequacy Index**

Der Index zur Berechnung der angemessenen Feuchtigkeit für Pflanzen (MAI) wurde erstmals von MCGUIRE & PALMER (1957) im Osten der Vereinigten Staaten angewendet. Weitere Nutzung findet der Indikator in Indien, wo er zu Überwachung agrarwirtschaftlicher Dürren eingesetzt wird (KUMAR & PANU 1997, SASTRI et al. 1981).

Der Index basiert auf der wöchentlichen Berechnung der Wasserbilanz (Quotient aus **tatsächlicher Evapotranspiration** und **potentieller Evapotranspiration**), wodurch ein stufenweiser Bezug der Wasserverfügbarkeit zu den verschiedenen Wachstumsstadien der Pflanzen hergestellt wird. Dadurch, dass sich das Fehlen von Wasser in den einzelnen Phasen unterschiedlich stark auswirkt, sind gezieltere Maßnahmen zur **Anpassung** möglich.

### **Hydrologische Dürre-Indices**

Hydrologische Dürre-Indices orientieren sich an: a) Abflussmengen, die über Pegelmessungen an Flüssen abgeleitet werden können, b) dem Vergleich von monatlichen Anomalien mit durchschnittlichen Bedingungen (DRACUP et al. 1980) oder c) der Auswertung von Trockenwetterabflüssen. Eine gute Übersicht der Vorgehensweisen bieten z.B. TALLAKSEN & VAN LANEN (2004) oder SMAKHTIN (2001).

Werden die Änderungen der Abflussgrößenordnungen verwendet, so ist es jedoch häufig nicht möglich, die vollständige zeitliche Entwicklung der Dürre zu identifizieren. Bei der Verwendung von Schwellenwerten, deren Unterschreitung eine Dürre anzeigt, ist es dagegen schwierig, die Intensität einer Dürre zu erfassen (FLEIG et al. 2006).

Hydrologische Dürre-Indices sind für die Gewährleistung städtischer Wasserversorgungen, der Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen sowie für die Energieversorgung von

Interesse. Mit Hilfe des „regional deficiency index“ erstellten [HANNAFORD et al. \(2011\)](#) einen „Dürren-Katalog“ für 23 europäische Regionen.

Tab.13: Hydrologische Dürre-Indices

Index	Abk.	Quelle
Surface water supply index (Oberflächenwasser-Versorgung-Index)	SWSI	<a href="#">SHAFFER &amp; DEZMAN (1982)</a>
Reclamation drought index (Wiedergewinnung Dürre Index)	RDI	<a href="#">WEGHORST (1996)</a>
Regional streamflow deficiency index (Regionaler Abflussmangel Index)	RSDI	<a href="#">STAHL (2001)</a>
Regional deficiency index (Regionaler Mangel Index)	RDI	<a href="#">HANNAFORD et al. (2011)</a>
Regional drought area Index (Regionaler Dürregebiet Index) - basierend auf Abflusswerten und Wetterlagen	RDAI	<a href="#">FLEIG et al. (2011)</a>

Als Beispiele werden nachfolgend der „surface water supply index“ und der „reclamation drought index“ detaillierter beschrieben.

### **Surface Water Supply Index (SWSI)**

Der Oberflächenwasser-Versorgung-Index (SWSI) wurde entwickelt, um die Eigenschaften von Oberflächenwasser zu beschreiben, wobei die Schneebedeckung eine wichtige Komponente bildet ([SHAFFER & DEZMAN 1982](#)). Ziel des SWSI ist die Kombination hydrologischer und klimatologischer Aspekte zu einem einzelnen Index.

Zur Berechnung werden Angaben zur Schneedecke, zur Abflussmenge, zum Niederschlag und zum Speichervermögen des Reservoirs benötigt, wobei eine monatliche Wichtung der einzelnen Komponenten erfolgt. Änderungen der Wasserbewirtschaftung innerhalb eines betrachteten Einzugsgebietes, wie etwa das Anlegen neuer Reservoirs, machen eine Neuberechnung notwendig, da Komponenten neu zu gewichten sind. Deshalb ist es schwierig, eine homogene Zeitreihe für diesen Index zu erhalten ([HEDDINGHAUS & SABOL 1991](#)).

Tab.14: Dürre-Klassifikation auf SWSI-Basis ([SHAFFER & DEZMAN 1982](#))

SWSI	Klasse
+4	Ausreichend Wasser
+2	Nahe an Normalzustand
-2	Mäßig Dürre
-3	Schwere Dürre
-4	Extreme Dürre

### **Reclamation Drought Index (RDI)**

Der Wiedergewinnung-Dürre-Index (RDI) wurde als Werkzeug entwickelt, um die Schwere und Dauer von Dürren in Flussgebieten zu definieren, sowie um Vorhersagen zu Beginn und Ende von Dürren machen zu können ([WEGHORST 1996](#)).

Als Eingabeparameter werden Angaben zu Temperatur, Niederschlag, Schneebedeckung, Abflussmenge und Reservoireigenschaften verwendet. Der große Vorteil dieses Index ist seine Anpassungsfähigkeit an verschiedenste Regionen, wobei die Temperatureinbindung indirekt dafür sorgt, dass die Verdunstung ebenfalls berücksichtigt wird. Nachteilig ist, dass der Index flussgebietsspezifisch ist, was Vergleiche zwischen verschiedenen Einzugsgebieten deutlich einschränkt.

Tab.15: Dürre-Klassifikation auf RDI-Basis (NDMC 2005)

RDI	Klasse
≥4,0	Extrem nass
1,5 bis 4,0	Mäßig feucht
0,0 bis 1,5	Normal bis leichte Nässe
-1,5 bis 0	Normal bis leichte Dürre
-4,0 bis -1,5	Mäßige Dürre
≤ -4,00	Extreme Dürre

### Dürre-Indices aus Fernerkundungsdaten

Fernerkundungstechnologien ermöglichen die räumliche Beschreibung der Erdoberfläche. Aus der Beobachtung von Vegetationsänderungen können Anomalien wie Dürren abgeleitet und daraus Dürre-Indices (sog. „remote sensing drought indices“) entwickelt werden.

Tab.16: Dürre-Indices aus Fernerkundungsdaten

Index	Abk.	Quelle
Normalized difference vegetation index ( <i>Normierter Vegetations-Differenzen Index</i> )	NDVI	TUCKER (1979)
Vegetation condition index ( <i>Index nach dem Vegetationszustand</i> )	VCI	KOGAN (1990)
Temperature condition index ( <i>Index nach Temperaturbedingungen</i> )	TCI	KOGAN (1995)
Normalized difference water index ( <i>Normierter Wasser-Differenzen Index</i> )	NDWI	GAO (1996)
Vegetation temperature index ( <i>Vegetation-Temperatur-Index</i> )	VTI	KOGAN (1997)
Anomaly of the NDVI ( <i>Anomalie des NDVI</i> )	NDVIA	ANYAMBA et al. (2001)
Standardized vegetation index ( <i>Standardisierter Vegetationsindex</i> )	SVI	PETERS et al. (2002)
Temperature vegetation dryness index ( <i>Temperatur-Vegetation-Trockenheit-Index</i> )	TVDI	SANDHOLT et al. (2002)
Modified perpendicular drought index ( <i>Senkrecht-modifizierter Dürre Index</i> )	MPDI	GHULAM et al. (2007)
Normalized multi-band drought index ( <i>Normierter Multiband Dürre Index</i> )	NMDI	WANG & QU (2007)
Remote sensing drought risk index ( <i>Fernerkundung-Dürre-Risiko-Index</i> )	RDRI	LIU et al. (2008)
Normalized total depth Soil Moisture ( <i>Normierte Gesamttiefe der Bodenfeuchte</i> )	NSM	DUTRA et al. (2008)

### Kombinierte Dürre-Indices

Die neueste Index-Generation sind Indices, die Informationen aus verschiedenen Sektoren kombinieren. Sie versuchen mit einem integrierten Ansatz ein Maximum an leicht verfügbaren Informationen zu nutzen. Die Kombination von meteorologischen Daten und abgeleiteten Informationen der Landoberfläche aus Fernerkundungsdaten sind eine typische Vorgehensweise dieses Dürre-Index-Typs. Als Beispiel wird der „standardized precipitation evapotranspiration index“ kurz vorgestellt.

Tab.17: Kombinierte Dürre-Indices

Index	Abk.	Quelle
Vegetation drought response index ( <i>Index der Vegetation-Dürre-Reaktion</i> )	VegDri	<a href="#">BROWN et al. (2008)</a>
standardized precipitation evapotranspiration index ( <i>Standardisierter Niederschlag-Evapotranspiration Index</i> )	SPEI	<a href="#">VICENTE-SERRANO et al. (2010)</a>

### **Standardized Precipitation Evaporation Index (SPEI)**

Der Standardized Precipitation Evaporation Index (SPEI) bezieht sich auf verschiedene räumliche Ebenen (multi-skalarer Charakter), da zu seiner Berechnung Informationen aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen herangezogen werden ([VICENTE-SERRANO et al. 2010](#)). Mit seiner Hilfe können Dürren erkannt, überwacht und analysiert werden. Der SPEI ermöglicht es schwere Dürren unabhängig von Zeit und Ort zu vergleichen, da die Berechnungsgrundlage in vielen Klimazonen Gültigkeit besitzt.

#### **Quellen** (Stand: 31.07.12)

- Alley, W.M. (1984): The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. – Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol. 23, 1100-1109.
- Anyamba A., Tucker C. & Eastman J. (2001): NDVI anomaly patterns over Africa during the 1997/98 ENSO warm event. - . International Journal of Remote Sensing 22(10):1847–1859. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160010029156>.
- Bhalme, H.N. & Mooley, D. A. (1980): Large-scale drought/floodsand monsoon circulation. - Mon. Weath. Rev. 108,1197.
- Bigler, C., Bräker, O.U., Bugmann, H., Dobbertin, M. & Rigling, A. (2006): Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. - Ecosystems 9:330–343
- Blumenstock, G., Jr., (1942): Drought in the United States analyzed by means of the theory of probability. - USDA Tech. Bull. 819, 63 pp.
- Brown, J. F., Wardlow B. D., Tadesse T., Hayes M. J. & Reed, B. C. (2008): The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A New Integrated Approach for Monitoring Drought Stress in Vegetation. - GIScience & Remote Sensing, 45(1):16-46.
- Bruschek, G. J. (1994): Waldgebiete und Waldbrandgeschehen in Brandenburg im Trockensommer 1992. - PIK-Report 2: 245–264.
- Bryant, S. J., Arneli, N. W. & Law, F. M. (1994): The long term context for the current hydrological drought. - J. Instrn. Wat. Environ. Manage. S, 39-51
- Burke, E. J., Brown S. J., & Christidis, N. (2006): Modelling the recent evolution of global drought and projections for the 21st century with the Hadley Centre climate model. - Journal of Hydrometeorology, 7, 1113-1125.
- Burke, E. J. & Brown, S. J. (2008): Evaluating uncertainties in the projection of future drought. Journal of Hydrometeorology, 9(2), 292-299.
- Byun, H.-R. & Wilhite, D. A. (1999): Objective quantification of drought severity and duration. - J. Climate, 12, 2747–2756.
- Dracup, J. A., Lee, K. S., & Paulson, E. G. Jr. (1980): On the definition of droughts. - Water Res. Res., 16, 297
- Dutra, E., Viterbo, P., & Miranda, P. M. A (2008): ERA- 40 reanalysis hydrological applications in the characterization of regional drought. - Geophys. Res. Lett., 35, L19402, doi:10.1029/2008GL035381
- Fleig, A. K., L. M. Tallaksen, H. Hisdal, and S. Demuth (2006), A global evaluation of streamflow drought characteristics, - Hydrol. Earth Syst. Sci., 10, 535– 552.
- Fleig, A.K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H. & Hannah, D. M. (2011): Regional hydrological drought in north-western Europe: linking a new Regional Drought Area. - Hydrol. Process. 25, 1163–1179, DOI: 10.1002/hyp.7644
- Gao, B. (1996): NDWI - a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. – Remote Sensing of Environment, 58, 257–266.
- Ghulam, A., Qin, Q. & Zhan, Z. (2007): Designing of the perpendicular drought index. – Environmental Geology, 52(6): 1045–1052.
- Gibbs, W. J. & Maher, J. V. (1967): Rainfall deciles as drought indicators. – Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, 33p.
- Hannaford, J., Lloyd-Hughes, B., Keef, C., Parry, S. & Prudhomme, C.:(2011): Examining the large-scale spatial coherence of European drought using regional indicators of rainfall and streamflow deficit. - Hydrol. Processes, 25, 1146–1162, doi:10.1002/hyp.7725.
- Hayes, M., Alvord, C. & Lowrey, J. (2007): Drought indices. – Intermountain West Climate Summary, 3(6): 2-6.
- Heddinghaus, T. R. & Sabol, P. (1991): A review of the Palmer Drought Severity Index and where do we go from here? – In: Proc. 7th Conf. on Applied Climatology, pp. 242–246.
- Heim, R. R., Jr. (2000): Drought indices: A review. – In: Wilhite, D. A. [ed.]: Drought: A Global Assessment, 159–167.
- Heim, R. R., Jr. (2002): A review of twentieth-century drought indices used in the United States. - Bull. Am. Meteor. Soc. 83 (8), 1149–1165.

- Hollinger, S. E., Isard, S. A. & Welford, M. R. (1993): A New Soil Moisture Drought Index for predicting crop Yields. – In: Proc. 8th Conf. Applied Climatology, 187-190.
- Katz, R. W. & Glantz M. H. (1986): Anatomy of a rainfall index. – Monthly Weather Review, 114, 764–771.
- Keetch, J. J. & Byram, G. M. (1968): A drought index for forest fire control. – US Dept. of Agriculture, Forest Service Research Paper SE-38, 32 pp.
- Keyantash, J. A. & Dracup, J. A. (2004): An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. – *Water Resources Research*, 40, W09304, doi:10.1029/2003WR002610
- König, C. & Mayer, H. (1989): Klimastatistik, Bearbeitung im Hinblick auf neuartige Waldschäden. Wissenschaftliche Mitt. 64, Meteorologisches Institut, Univ. München, Münchner Universitätsschriften, 646 S.
- Kogan, F.N. (1990): Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. – *Int. J. Remote Sens.*, 11, 1405- 1419.
- Kogan, F.N. (1995): Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. – *Advances in Space Research*, 11, pp. 91–100.
- Kogan, F.N. (1997): Global drought watch from space. – *Bull. of the Am. Meteo. Soc.*, 78, pp. 621–636.
- Kumar, V. & Panu, U. S. (1997): Predictive assessment of severity of agricultural droughts based on agro-climatic factors. - *J. Am. Wat. Resour. Assoc.* 33(6), 1255-1264.
- Liu, L., Xiang, D. & Dong, X. (2008): Improvement of the Drought Monitoring Model Based on the Cloud Parameters Method and Remote Sensing Data. – In: Proc. Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining, 293-296.
- Loucks, D.P., Beek, E. van, Stedinger, J. R., Dijkman, J. P. M. & Villars, M. T. (2006): Water Resources System planning and management. – UNESCO-Report, 680 p.
- Marletto, V., Ventura, F., Fontana, G. & Tomei, F. (2007): Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and a numerical model. – *Agricultural and forest meteorology*, 147: 71-79.
- Mátyás, Cs., Berki, I., Czúc, B., Gálos, B., Móricz, N. & Rasztoivts, E. (2010): Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silv Lign Hung* 6: 91–100
- Mavromatis, T. (2007): Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece. – *International Journal of Climatology*, 27(7):911-924.
- McGuire J. K. & Palmer, W. C. (1957): The 1957 drought in the eastern United States. - *J. Mon. Wea. Rev.* , 1957, 85: 305-314.
- McKee, T.B. & Doesken, N.J. & Kleist, J. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. – In: McKee, T. B., Doesken, N. J. & Kleist, J. [eds.]. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, pp. 179–84.
- Meyer, S. J., Hubbard, K. G. & Wilhite, D. A. (1993): A crop-specific drought index for corn: I. Application in drought monitoring and assessment. – *Agronomy Journal*, 85, pp. 396–399.
- Meyer, S. J. & Hubbard, K. G. (1995): Extending the crop-specific drought index to soybean. – Proc. of 9<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, pp. 258–259.
- Narasimhan, B. & R. Srinivasan (2005): Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. – *Agricultural and Forest Meteorology*, 133, 69-88.
- NDMC (2005): What is Drought: Drought Indices. – Report of National Drought Mitigation Center, <http://drought.unl.edu/whatis/indices.htm#swsi>
- Niemeyer, S. (2008): New drought indices. - *Méditerranéennes. Série A. no.80*, pp. 267-274.
- Quiring, S.M. & Papakryiakou, T.N. (2003): An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. - *Agr Forest Meteorol* 118:49–62
- Pálfai, I. (1991): Az 1990 évi aszély Magyarországon. - *Vízügyi Közlemények*, 2, 117–132.
- Palmer W. C. (1965): Meteorological drought. - U.S. Research Paper No. 45, US Weather Bureau
- Palmer, W.C. (1968): Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new Crop Moisture Index. - *Weatherwise* 21:156–161.
- Ped, D. A. (1975): Index of drought and excessive moisture. - *Proc. Hidrometcentra USSR*, vol 156, pp 19–38
- Peters, A. J., Walter-Shea, E. A., Ji, L., Vina, A., Hayes, M. & Svoboda, M. D. (2002): Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. - *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68, pp. 71–75.
- Rao, A. S. & Saxton, K. E. (1995): Analysis of profile soil water and water stress under pearl millet in an Indian arid region using the SPAW model. - *Journal of Arid Environments* 29:155–67.
- Rooy, M. P. van. (1965): A Rainfall anomaly index (RAI) independent of time and space. – *Notos* 14: 43.
- Sandholt, I., Rasmussen, K. & Andersen, J. (2002): A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. – *Remote Sensing of Environment*, Vol. 79, no. 2-3, pp. 213-224,
- Sastri, A. S. R. A. S., Rama Krishna, Y. S. & Ramana Rao, B. V. (1981): A new method for classification of agricultural droughts. - *Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B.* 29, 293-297.
- Selyaninov, T. G. (1928): On the agricultural estimation of climate. - *Proc. Agricultural Meteorology*, vol. 20, pp 165–177
- SERCC (2002): Keetch-Byran Drought Index. – Southeast Regional Climate Center [<http://www.serc.com/products/kdbi/kdbi.html>]
- Shafer, B. A. & Dezman, L. E. (1982): Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. – In: Proc. of the Western Snow Conference, pp. 164–175.
- Smakhtin, V. U. (2001): Low flow hydrology: A review. - *J. Hydrol.*, 240, 147– 186, doi:10.1016/S0022-1694(00)00340-1.
- Stahl, K. (2001): Hydrological Drought - a Study across Europe. – *Freiburger Schr. zur Hydrologie*; 15, 121 S.
- Tallaksen, L. M., and H. A. J. van Lanen (Eds.) (2004), *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*, *Dev. Water Sci.*, vol. 48, 579 p.
- Thornthwaite, C.W. & Mather, J. R. (1955): The water balance. - *Climatol*, 8: 1-104.

- Trnka, M., Hlavinka, P., Semerádová, D., Dubrovský, M., Žalud, Z. & Možný, M. (2007): Agricultural drought and spring barley yields in the Czech Republic. - *Plant Soil Environ* 53:306–316
- Tsakiris, G., Pangalou, D. & Vangelis, H. (2007): Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). – *Water Resources Management*, 21, 821-833.
- Tucker, C. J. (1979): Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. – *Remote Sensing of Environment*, 8(2),127-150.
- USDA (2002): Wildland Fire Assessment System. – United States Department of Agricultural Forest Service. [<http://www.fs.fed.us/land/wfas/>]
- Vogt, J. V. & Somma, F. [eds.] (2000): Drought and Drought Mitigation in Europe, 336 p
- van der Schrier, G., Efthymiadis, D., Briffa, K.R. & Jones, P. D. (2007): European Alpine moisture variability for 1800–2003. - *Int J. Climatol.*, 27:415–427
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. & López-Moreno, J. I. (2010): A Multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI. *Journal of Climate*, doi:10.1175/2009JCLI2909.
- Wang, L. & Qu, J. J. (2007): NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. – *Geophys. Res. Lett.*, 34, L20405, doi:10.1029/2007GL031021.
- Weghorst, K. M. (1996): The reclamation drought index: Guidelines and practical applications. Bureau of Reclamation, Denver, CO, 6 pp.
- Wells, N., Goddard, S. & Hayes, M. J. (2004): A self calibrating Palmer Drought Severity Index – *J. Clim.*, 17, 2335–2351, doi:10.1175/1520-0442
- White, D. H. & O’Meagher, B. (1995): Coping with exceptional drought in Australia. – *Drought Network News* 7(2):13–17. (<http://enso.unl.edu/ndmc/mitigate/policy/austral.htm>.)

## Ecosystem-Well-being Index

Mit Hilfe des Ecosystem-Well-being Index (EWI) kann der Zustand eines Ökosystems beschrieben werden. Im Vergleich zum globalen [Environmental Sustainability Index](#) ist der hier gewählte Ansatz systematischer und detaillierter ([cmsdata.iucn.org](http://cmsdata.iucn.org)).

Beim EWI werden der jeweilige Zustand der Land- und Wassersysteme, die vorhandenen Lebewesen und der Ressourcenverbrauch bewertet. Ein guter Zustand des Ökosystems wird hierbei dadurch charakterisiert, dass die Artenvielfalt und die Qualität der Ökosystemdienstleistungen, d.h. der Nutzen, den die Menschen aus den ökologischen Systemen beziehen, erhalten bleiben ([sedac.ciesin.columbia.edu](http://sedac.ciesin.columbia.edu)).

**Quellen** (Stand 28.10.13)

<http://cmsdata.iucn.org>

<http://sedac.ciesin.columbia.edu>

## Eis-Albedo Rückkopplung

Die Eis-Albedo Rückkopplung beschreibt die Wechselwirkung zwischen der schnee- und eisbedeckten Erdoberfläche und der Atmosphäre ([www.klimawiki.org](http://www.klimawiki.org)), bei der sich durch eine Abkühlung der Atmosphäre die Schnee- und Eisbedeckung auf der Erdoberfläche ausdehnt.

Durch die erhöhte **Albedo** wird die Abkühlung weiter verstärkt ([www.geodz.com](http://www.geodz.com)). Umgekehrt nimmt durch eine Erwärmung der Atmosphäre die Schnee- und Eisbedeckung und damit auch die Albedo ab, wodurch die Erwärmung verstärkt wird. Nach den Begriffen der Regelungstechnik handelt es sich um eine „positive Rückkopplung“, da die ursprüngliche Ursache verstärkt wird.

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.geodz.com>

<http://www.klimawiki.org/>

## Eistag

Ein Eistag ist die meteorologisch-klimatologische Bezeichnung für einen Tag, an dem auch das Maximum der Lufttemperatur in zwei Meter Höhe unter 0°C bleibt, also die Temperatur den Gefrierpunkt den ganzen Tag nie übersteigt ([cccma.seos.uvic.ca](http://cccma.seos.uvic.ca), [www.deutscherwetterdienst.de](http://www.deutscherwetterdienst.de)). Hierfür wird häufig auch der Begriff Dauerfrost verwendet ([www.top-wetter.de/](http://www.top-wetter.de/)). Ein Eistag wird immer auch als **Frosttag** (=Minimum der Lufttemperatur liegt unter 0°C) gezählt. ([www.wetter.net](http://www.wetter.net))

Die Summe der Eistage eines Winters wird häufig benutzt, um Winter verschiedener Jahre oder das Klima verschiedener Regionen zu vergleichen. So gab es im Winter 2006/07 in Berlin vier Eistage, im strengen Winter 2009/10 wurden dagegen 43 Eistage registriert ([www.deutscher-wetterdienst.de](http://www.deutscher-wetterdienst.de)).

Die Anzahl der durchschnittlichen Eistage weist nach Datengrundlage des DWD (1977-2007) in Deutschland eine Zunahme von Nordwest nach Südost auf. So wurden in Hamburg-Fuhlsbüttel 16,6 Eistage registriert, in Trier 14,4, in Würzburg 19,9, in Erfurt 29,1 und Kempten/Allgäu 27,8 ([www.autoservicepraxis](http://www.autoservicepraxis)).

### Quellen (Stand: 31.07.12)

[http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/list\\_27\\_indices.shtml](http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/list_27_indices.shtml)

<http://www.autoservicepraxis.de>: Deutschland und das Märchen vom Winter

<http://www.deutscher-wetterdienst.de>

<http://www.top-wetter.de/>

<http://www.wetter.net>

## Ensemble-Simulationen

Ensemble-Simulationen sind eine Methode der Klimamodellierung, um die Bandbreite möglicher zukünftiger Klimaänderungen abzubilden. Die Methode der Ensemble-Simulationen geht auf die numerische Wettervorhersage zurück, bei der mehrere Simulationen zur Vorhersage möglicher Wetterzustände gemacht werden. Die Simulationen werden von geringfügig unterschiedlichen Ausgangszuständen der Atmosphäre gestartet, welche auf Basis gemessener atmosphärischer Bedingungen alle gleichermaßen plausibel sind. Die Ergebnisse führen aufgrund der chaotischen Natur des Wetters (nichtlineare Prozesse im System Atmosphäre) zu unterschiedlichen Vorhersagen. Sind die Vorhersagen eines Ensembles sehr ähnlich, ist ihr Eintreten sehr wahrscheinlich. Weichen die Vorhersagen dagegen sehr voneinander ab, ist ihr Eintreten weniger wahrscheinlich.

In der Klimaforschung ist die Verwendung von Ensembles zur gängigen Praxis im Umgang mit den Unsicherheiten von Klimaprojektionen geworden, die eine Bandbreite möglicher zukünftiger Klimaentwicklungen abbilden ([JACOB et al. 2012](#)). Dabei können drei verschiedene Arten von Unsicherheiten unterschieden werden: 1.) Unsicherheiten in Bezug auf die Startbedingungen des Klimasystems, 2.) Unsicherheiten externer Faktoren, wie z. B. des menschlichen Handelns und 3.) Unsicherheiten der Klimamodelle, die nur ein reduziertes Abbild des Klimasystems darstellen. Jede dieser Unsicherheitsquellen kann durch eine bestimmte Art von Ensemble-Simulation berücksichtigt werden ([HENNEMUTH et al. 2013](#)). Je repräsentativer das entsprechende Set an Simulationen die jeweilige Unsicherheit abbilden kann, umso eher kann die zukünftige Klimaentwicklung und damit die Robustheit der Modellergebnisse eingeschätzt werden.

- 1.) Die Unsicherheiten in Bezug auf die Startbedingungen der Komponenten des Klimasystems (Atmosphäre, Hydrosphäre, Geosphäre, Biosphäre) werden durch Simulationen mit leicht unterschiedlichen Startbedingungen (Initialisierungsbedingungen) einbezogen, sog. Multi-Initial-Condition-Ensemble, oft auch als Multi-Member-Ensemble bezeichnet. Die unterschiedliche zeitliche Entwicklung des Klimas spiegelt die natürliche Variabilität aufgrund interner Wechselwirkungen und nicht-linearer Prozesse innerhalb und zwischen den Komponenten des Klimasystems wider.
- 2.) Die Ungewissheit über menschliches Handeln in der Zukunft wird durch bestimmte Annahmen auf der Basis verschiedener, plausibler, sozioökonomischer Entwicklungspfade angesprochen, in. sog. Multi-Szenario-Ensembles.
- 3.) Zur Berücksichtigung von Unsicherheiten der Modellierung werden zum einen Klimamodelle mit unterschiedlichen Parametrisierungen herangezogen, sog. Perturbed Physics Ensemble, zum anderen werden verschiedene Modelle verwendet, die auf unterschiedliche Weise die Komponenten des Klimasystems abbilden bzw. berechnen. Die Modellergebnisse unterscheiden sich dadurch in ihrer Klimasensitivität.

Zur Erstellung regionaler Klimaprojektionen werden zudem verschiedene Globalmodell-Regionalkombinationen verwendet ([VAN DER LINDEN & MITCHELL 2009](#)). Je vielfältiger das vorhandene Ensemble von Modellprojektionen ist, umso besser können Unsicherheiten und Unterschiede der Modellergebnisse bewertet werden ([www.anpassung.net](http://www.anpassung.net)).

#### Quellen (Stand: 28.10.13)

Hennemuth, B., Bender, S., Bülow, K., Dreier, N., Keup-Thiel, E., Krüger, O., Mudersbach, C., Radermacher, C. & Schoetter, R. (2013): Statistische Verfahren zur Auswertung von Klimadaten aus Modell und Beobachtung, eingesetzt in Projekten und Institutionen, die sich mit Klimafolgen und Anpassung befassen. - CSC Report 13, 139 S.

van der Linden P. & Mitchell, J. F. B. [eds.] (2009): ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. - Met Office Hadley Centre, 160pp.

Jacob, D., Bülow, K., Kotova, L., Moseley, C., Petersen, J. & Rechid, D. (2012): Regionale Klimaprojektionen für Europa und Deutschland - Ensemble Simulationen für die Klimafolgenforschung. - CSC Report 6. 48 S.

<http://www.anpassung.net>

## Environmental Benefits Index

Der Environmental Benefits Index (EBI) (Index zur Beurteilung von Ökosystemdienstleistungen) ist ein zusammengesetzter Index, der die Risiken für Bodenerosion, Wasserqualität und für den Lebensraum von Wildtieren berücksichtigt. Die Bewertung basiert auf einer Skala von 0 bis 300 ([beaver.nrri.umn.edu](http://beaver.nrri.umn.edu)).

Der EBI wird z.B. als Aufnahmekriterium in das Schutzgebietsprogramm der USA verwendet (Conservation Reserve Program). Als Umweltfaktoren werden hierbei Wildtiere, Wasserqualität, Bodenerosion, dauerhafte Umweltleistungen, Luftqualität und Kosten berücksichtigt ([www.iatp.org](http://www.iatp.org)).

#### Quellen (Stand: 28.10.13)

<http://beaver.nrri.umn.edu>

<http://www.iatp.org>

## Environmental Performance Index

Der Environmental Performance Index (EPI) („Index der Umwelleistungsfähigkeit“) wurde in Zusammenarbeit von der Columbia University und Yale University entwickelt (CIESIN & YCELP 2008) und ist eine Weiterentwicklung des Environmental Sustainability Index (ESI). Mit dem EPI werden sowohl der aktuelle Zustand sowie die Dynamik der ökonomischen Leistungsbilanz abgebildet ([epi.yale.edu](http://epi.yale.edu)).

Der EPI umfasst 16 Indikatoren aus den Bereichen Umweltgesundheit, Luftqualität, Wasser, Biodiversität, natürliche Ressourcen und Energie. Allerdings berücksichtigt kein Indikator die demographische Entwicklung. Zur Berechnung des EPI werden die Indikatoren jeweils in Zielmaßnahmen umgewandelt und auf eine Skala von 0 bis 100 normiert, wobei 100 den besten und 0 den schlimmsten Beobachtungswert darstellt.

**Quellen** (Stand 28.10.13)

CIESIN & YCELP [Center for International Earth Science Information Network and Yale Center for Environmental Law and Policy] (2008): Environmental Performance Index, <http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/epi/>.  
<http://epi.yale.edu/>

## Environmental Sustainability Index

Der Environmental Sustainability Index (ESI) („Umweltverträglichkeitsindex“) wurde entwickelt, um die ökologische Nachhaltigkeit auf nationaler Ebene zu charakterisieren ([sedac.ciesin.columbia.edu](http://sedac.ciesin.columbia.edu)).

Der ESI ist ein zusammengesetzter Index, der von 1999 bis 2005 aus 21 Elementen (ökologische, sozio-ökonomische und institutionelle Indikatoren) bestand. Betrachtet wurde dabei die ökologische Nachhaltigkeit in Bezug auf natürliche Ressourcen, die Schadstoffbelastung der Vergangenheit und Gegenwart, Anstrengungen im Umweltmanagement, Beiträge zum Schutz globaler Gemeinschaftsgüter und die Fähigkeit einer Gesellschaft ihre Umwelleistungen im Laufe der Zeit zu verbessern.

Zu beachten gilt es, dass wegen der Veränderungen des Methodikansatzes die einzelnen Jahresberichte auf unterschiedlichen Rahmenbedingungen basieren, so dass die Ergebnisse nicht für eine Zeitreihenanalyse genutzt werden können. Der ESI wurde zum Environmental Performance Index (EPI) weiterentwickelt ([www.springerreference.com](http://www.springerreference.com)).

**Quellen** (Stand 28.10.13)

<http://sedac.ciesin.columbia.edu>  
<http://www.springerreference.com>

## Evaporation

Siehe „Verdunstung“

## Evapotranspiration

Siehe „Verdunstung“

## Exposition

Der Begriff Exposition wird in den verschiedenen Fachrichtungen jeweils recht unterschiedlich definiert. Im Rahmen von Umweltbetrachtungen wird zwischen geographischen und medizinischen Aspekten unterschieden.

Unter „medizinischer Exposition“ wird die Summe aller Umgebungseinflüsse (biologisch, chemisch, physisch oder physikalisch) verstanden, die auf einen Gegenstand oder ein Lebewesen einwirken ([flexikon.doccheck.com](http://flexikon.doccheck.com)). Speziell in der Medizin und Toxikologie steht Exposition für das Ausgesetztsein von Lebewesen gegenüber schädigenden Umwelteinflüssen wie Krankheitserregern, toxischen Verbindungen oder physikalischen Einflüssen wie Hitze, Lärm oder Strahlung.

In der Bodenkunde und Geographie beschreibt Exposition die Lage eines Hanges hinsichtlich seiner Ausrichtung, der Sonneneinstrahlung sowie der Licht-, Wind- und Niederschlagsverhältnisse ([www.enzyklo.de](http://www.enzyklo.de)). Eine Exposition von 0° kennzeichnet einen nach Norden ausgerichteten Hang, der auch als „Schattseite“ bezeichnet wird. Eine Exposition von 180° beschreibt einen Südhang bzw. die „Sonnenseite“. Die Exposition steiler Hänge hat einen großen Einfluss auf das lokale Klima und die Vegetation. Die Exposition eines Hanges ist u. a. für den Weinbau von entscheidender Bedeutung.

**Quellen** (Stand 28.10.13)

<http://www.enzyklo.de>

<http://flexikon.doccheck.com>

## Extremereignis, Index

Zur Beschreibung von Extremereignissen wird auch der Climate Extremes Index (CEI) verwendet. Dieser Index kombiniert mehrere Indices, die zur Beschreibung von Extremen benutzt werden, in einem einzelnen Index. Er beschreibt den Flächenanteil einer Region, der durch Extreme bei monatlichen Durchschnittstemperaturen und den täglichen Niederschlägen sowie von Dürre beeinflusst wird. Ein Schwachpunkt dieses Index ist jedoch, dass weder Extremereignisse wie beispielsweise tropische Wirbelstürme und Tornados noch die unterschiedlichen sektor-bezogenen Schwellenwerte einzelner Extremereignisse berücksichtigt werden ([IPCC 2012](#)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

IPCC (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

## Extremniederschlag

Siehe „Extremwetterereignis“ und „Starkregen“

## Extremwetterereignis

Diesem Begriff liegt keine präzise Definition zugrunde. Ein Extremereignis beschreibt ein „außerordentliches“ Ereignis, d. h. dass es verglichen mit anderen Ereignissen seiner Art von bestimmten Durchschnittswerten abweicht und eine sehr lange, unregelmäßige Wiederkehrperiode besitzt. Dabei muss die Mittelungszeit angegeben werden, bspw. Tages-, Monats-, Jahresmittelwerte oder -summen oder kürzere Mittelungszeiten von einer Stunde. Zu Extremwetterereignissen zählen lange Dürreperioden sowie sehr hohe Niederschlags- und Abflussmengen. Die Begriffe „extrem“ und „sehr selten“ sind dabei nicht klar definiert.

Der IPCC definiert ein Wetterereignis als „extrem“, wenn es sich nicht zwischen dem 10. und 90. *Perzentil* der beobachteten Wahrscheinlichkeitsverteilung befindet (IPCC 2007). In den „UK Climate Projections“ (UKCP09) wird der Bereich auf <1. bzw. >99. *Perzentil* eingeschränkt bzw. es wird eine Wiederkehrperiode von 100 Tagen verwendet. Die Arbeitsgruppe des Long-Term Ecological Research (LTER) verwendet eine ähnliche Definition: Extreme klimatische Ereignisse sind statistisch selten in ihrer Wiederkehr, Größe und/oder Dauer. Die Fähigkeit Extremereignisse zu erkennen und zu kategorisieren, hängt von der Länge der zuverlässigen Beobachtungsdaten ab (GOODIN 2004).

In der Wasserwirtschaft bzw. in der Raum- und Fachplanung spielt die Wiederkehrzeit eine wichtige Rolle, da diese zur Bemessung von Bauwerken herangezogen wird. In Abhängigkeit des Bauwerks und der zu betrachtenden Extremereignisse werden jedoch sehr unterschiedliche Wiederkehrzeiten verwendet. Diese können vom fünfzigjährigen über dreihundertjährige bis zu fünfhundertjährigen Ereignissen reichen BIRKMANN et al. (2011). Bei einigen Staudamm-Projekten, wie dem EU-Projekt RESCDAM (Development of Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analysis) wurden sogar Flutsituationen mit einer Wiederkehrzeit von 10.000 Jahren simuliert ([www.anpassung.net](http://www.anpassung.net)).

Da „Extremwetter“ bei absoluter Betrachtung einen starken räumlichen Bezug aufweisen und von Ort zu Ort stark variieren können, ist es notwendig zur Bewertung immer Bezugsgrößen anzugeben. Ein Ereignis, das lokal auf Grund der Wiederkehrperiode und der verursachten Schäden als extrem eingestuft wird, kann überregional in den statistischen Normalbereich fallen, da sich die Wiederkehrperiode deutlich verkürzt hat: Im nationalen Maßstab (hier Schweiz) stellen die Windspitzengeschwindigkeiten des Wintersturms Lothar ein Extremereignis mit einer Wiederkehrperiode von 20 – 100 Jahren dar. Dagegen handelt es sich im internationalen Maßstab (hier: Europa) lediglich um ein starkes Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von deutlich unter 10 Jahren ([www.occc.ch](http://www.occc.ch)).

Obwohl Extremwetterereignisse nicht zwangsläufig zu Schäden führen müssen, werden sie von der Gesellschaft jedoch immer mit größeren sozialen und ökonomischen Schäden in Verbindung gebracht. Häufig werden Extremereignisse deshalb auch mit Naturgefahren gleichgesetzt ([www.occc.ch](http://www.occc.ch)), obwohl sie oft nur den Auslöser einer Naturkatastrophe darstellen. So können eine lang anhaltende Trockenheit zu Waldbränden bzw. Starkniederschläge zu Überschwemmungen oder großflächigen Hangrutschungen führen.

Bei dem Elbehochwasser 2002 handelt es sich z. B. um eine Naturkatastrophe. Die Ursache für das „Jahrhunderthochwasser“ war eine seltene „Vb-Wetterlage“, bei der ein Tiefdruckgebiet von Italien über die Po-Ebene hinweg um die Alpen herum nordwestlich über Österreich und Polen zog und zu heftigen Niederschlägen mit extremen Niederschlagsmengen führte.

Infolge von Klimaänderungen wird jedoch erwartet, dass sich die Wahrscheinlichkeitsverteilung für Extremereignisse und damit ihre Wiederkehrperiode (Jährlichkeit) sowie das jeweilige Ausmaß verändern. Folglich kann es zu einer Veränderung von Ausmaß und Häufigkeit der Ereignisse kommen. Einzelne Extremereignisse können jedoch nicht direkt

einer anthropogenen Klimaänderung zugeordnet werden, da immer eine begrenzte Chance besteht, dass das betreffende Ereignis auch natürlicherweise hätte auftreten können ([www.klima-und-raum.org](http://www.klima-und-raum.org)).

**Hinweis:** Bei der Verwendung des Begriffs *Extremereignis* sollte sowohl die Wiederkehrrate, der Betrachtungsmaßstab und wenn möglich das Schadenspotential genannt werden, um das Ereignis vollständig und transparent als *Extremereignis* klassifizieren zu können.

#### Quellen (Stand: 15.04.12)

Birkmann, J., Böhm, H. R., Buchholz, F., Büscher, D., Daschkeit, A., Ebert, S., Fleischhauer, M., Frommer, B., Köhler, S., Kufeld, W., Lenz, S., Overbeck, G., Schanze, J., Schlipf, S., Sommerfeldt, P., Stock, M., Vollmer, M., Walkenhorst, O. (2011): Glossar Klimawandel und Raumplanung. E-Paper der ARL Nr. 10. Hannover.

Goodin, D.G. (2004) Climate Committee Takes Aim at Extreme Climatic Events. The Network Newsletter Vol. 17 No.2 Fall 2004. [http://intranet.lternet.edu/archives/documents/Newsletters/NetworkNews/fall04/fall04\\_pg09.htm](http://intranet.lternet.edu/archives/documents/Newsletters/NetworkNews/fall04/fall04_pg09.htm)

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, C. E. Hanson and P. J. van der Linden (eds.): Klimaänderung 2007 Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), 22 S.

<http://www.anpassung.net/>

<http://www.klima-und-raum.org/>

<http://www.occc.ch/>

<http://ukclimateprojections.defra.gov.uk>

## Frostperiode

Eine ununterbrochene Aneinanderreihung von **Frosttagen** nennt man Frostperiode. Dabei herrschen kalte Luftmassen vor, so dass die Temperatur aufgrund der nächtlichen Ausstrahlung unter den Gefrierpunkt sinkt ([www.wetter.net](http://www.wetter.net)). Die Höchstdauer der jährlich stark schwankenden Frostperioden wird durch den Frühfrost im Herbst und den Spätfrost im Frühjahr begrenzt ([www.wetterkontor.de](http://www.wetterkontor.de)).

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

<http://www.wetter.net/>

<http://www.wetterkontor.de>

## Frosttag

Die Definition des Frosttages beschreibt einen Tag, an dem lediglich das Minimum der Lufttemperatur in zwei Meter Höhe unterhalb des Gefrierpunktes (0 °C) liegt, ansonsten können auch Werte über dem Gefrierpunkt auftreten ([ccma.seos.uvic.ca](http://ccma.seos.uvic.ca), [www.dwd.de](http://www.dwd.de)). Deshalb ist das Maximum der Lufttemperatur hier nicht von Bedeutung. Die Anzahl der Frosttage ist somit  $\geq$  der Anzahl der Eistage, an denen durchgehend Frost vorherrscht.

Die Anzahl der durchschnittlichen Frosttage (Datengrundlage DWD 1977-2007) weist in Deutschland einen Zunahme von Nordwest nach Südost auf: So wurden in Hamburg-Fuhlsbüttel: 71,8 Frosttage registriert, in Trier 66,5, in Würzburg 77,9, in Erfurt 90,7 und Kempten/Allgäu 119,8 ([www.autoservicepraxis.de](http://www.autoservicepraxis.de)).

In gemäßigten Breiten werden folgende Formulierungen zur Beschreibung der Temperatur benutzt: leichter Frost (0°C bis -4°C); mäßiger Frost (-4°C bis -10°C), strenger/starker Frost (-10°C bis -15°C), sehr strenger/starker Frost (unter -15°C) ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)).

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

[http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/list\\_27\\_indices.shtml](http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/list_27_indices.shtml)

<http://www.autoservicepraxis.de>: Deutschland und das Märchen vom Winter

<http://www.dwd.de>

## Frostrocknis

Frostrocknis oder Winterdürre bezeichnet bei höheren Pflanzen einen Zustand des Wassermangels, der auf eine zu geringe Wasserversorgung durch die Wurzeln zurückzuführen ist. Dieser entsteht i. d. R. dadurch, dass die Pflanzen über die Blätter Wasser abgeben (Transpiration), jedoch aus dem gefrorenen Boden kein Wasser aufnehmen können. Frostrocknis ist besonders in Gebirgen bzw. subarktischen und arktischen Lebensräumen von Bedeutung. Nach KÖNIG & MAYER (1989) führt eine hohe Tagessumme der Sonnenscheindauer,  $T_{\max}$  über  $-1^{\circ}\text{C}$  und gleichzeitiger Bodenfrost bei Koniferen zu einem Engpass in der Wasserversorgung. Um das Frostrockenrisiko (FTR) angeben zu können, geben MAYER et al. (1988) folgenden Kennwert an:

$$\text{FTR} = \sum (T_{\max} - T_{\min}) \text{ wenn: } T_{\min} < -3^{\circ}\text{C} \text{ und } T_{\max} > 10^{\circ}\text{C}$$

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

König, C. & Mayer, H. (1989): Klimastatistik, Bearbeitung im Hinblick auf neuartige Waldschäden. - Wissenschaftliche Mitt. 64, Meteorologisches Institut, Univ. München, Münchner Universitätsschriften, 646 S.

Mayer, H., König, C. & Rall, A. (1988): Identifikation von Witterungsereignissen mit pflanzenphysiologischer Streßwirkung für Waldbäume. - Forstwiss. Centralbl. 107, 131-140.

## Fujita-Torndao-Skala

Die FUJITA-Skala wurde 1971 von T. T. FUJITA entwickelt. Sie dient der Schadensklassifikation für Starkwinderscheinungen wie Tornados. Die Unterteilung ist anhand der Windstärken nur theoretisch, da bisher keine Messungen von Windstärken eines Tornados existieren. Aus diesem Grund werden Tornados nach den verursachten Schäden klassifiziert ([www.meteomedia.de](http://www.meteomedia.de)). Die Übertragung der Skala auf Europa ist problematisch, da sich die europäische Bauweise erheblich von der amerikanischen unterscheidet. Das Gleiche gilt für die Größe von Wohnmobilen.

Tab.18: FUJITA-Tornado-Skala (Stand 2012)

Kategorie	Bezeichnung	Windgeschwindigkeit		Schaden
		Knoten	km/h	
F0	Stürmischer Tornado	35 – 62 <sup>1)</sup>	68 – 121 <sup>1)</sup> 64 – 116 <sup>2)</sup>	Einige Schäden an Schornsteinen und Reklametafeln, Äste von Bäumen brechen ab, flach wurzelnde Bäume werden umgestoßen.
F1	Mäßiger Tornado	63 – 97 <sup>1)</sup>	122 – 189 <sup>1)</sup> 117 – 180 <sup>2)</sup>	An der unteren Grenze beginnt die Hurrikan-Geschwindigkeit; die Oberfläche von Dächern wird abgedeckt; Fahrzeuge werden von der Strasse gedrückt oder überschlagen sich, Wohnmobile werden umgeworfen
F2	Beachtlicher Tornado	98 – 136 <sup>1)</sup>	190 – 264 <sup>1)</sup> 181 – 253 <sup>2)</sup>	Beträchtlicher Schaden; Dächer werden abgedeckt, Wohnwagen werden zerstört, große Bäume werden gebrochen bzw. entwurzelt, Güterwaggons werden umgeworfen

Kategorie	Bezeichnung	Windgeschwindigkeit		Schaden
		Knoten	km/h	
F3	Schwerer Tornado	137 – 179 <sup>1)</sup>	265 – 348 <sup>1)</sup> 254 – 332 <sup>2)</sup>	Dächer und Wände von stabilen Häusern werden zerstört, LKWs werden umgeworfen, Züge werden zum Entgleisen gebracht, ganze Wälder werden entwurzelt
F4	Verheerender Tornado	180 – 226 <sup>1)</sup>	349 – 439 <sup>1)</sup> 333 – 418 <sup>2)</sup>	Stabile Häuser werden zerstört, Autos und große Gegenstände werden über weite Strecken durch die Luft verfrachtet
F5	Unglaublicher Tornado	227 – 276 <sup>1)</sup>	440 – 537 <sup>1)</sup> 419 – 512 <sup>2)</sup>	Fest gebaute Häuser werden aus ihren Fundamenten gehoben, Fahrzeuge fliegen mehr als 100 m durch die Luft, Stahlbetonkonstruktionen werden stark beschädigt, Baumstämme werden entrindet
F6	Unvorstellbarer (unfassbarer) Tornado	> 276 <sup>1)</sup>	> 537 <sup>1)</sup> > 512 <sup>2)</sup>	Es handelt sich um theoretische Werte, die bisher nicht beobachtet wurden. Wenn diese Stärke je erreicht wird, kann dies nur durch Strudelstrukturen am/im Erdboden festgestellt werden.

<sup>1)</sup> [www.tornadoproject.com](http://www.tornadoproject.com), <sup>2)</sup> [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

<http://www.dwd.de>

<http://www.meteo-media.de>

<http://www.tornadoproject.com>

## Gewässergüte, Index

Es gibt zahlreiche Parameter, um Aussagen über die Wasserqualität eines Gewässers treffen zu können. Allerdings gibt es keine allgemeingültige Vorgehensweise, die auf jeden Wasserkörper angewendet werden kann.

Für den regionalen bis globalen Maßstab stellt die Verwendung eines zusammengesetzten Indikators einen möglichen Lösungsansatz dar. Häufig werden Parameter je nach ihrer Bedeutung für die Umwelt gewichtet und der Index über das Mittel aller Beobachtungen berechnet (TSEGAYE et al. 2006, LIU et al. 2004, SARGAONKAR & DESHPANDE 2003, PESCE & WUNDERLIN 2000, STAMBUK-GILJANOVIC 1999).

Tab.19: Häufig verwendete Indices zur Beurteilung der Gewässergüte

Index, Deutschland	Ziel	Quelle
Chemischer Index nach BACH	Gewässergüte, Fließgewässer	BACH (1980)
Deutscher Saprobienindex	Gewässergüte	ROLAUFFS et al. (2003)
Index, andere Regionen	Ziel	Quelle
Canadian Water Quality Index (Kanadischer Gewässergüte Index)	Binnengewässer, Canada	CCME (2001)
Chemical Water Quality Index (Chemischer Gewässergüte Index)	See-Becken, USA	TSEGAYE et al. (2006)
Scatterscore Index (Streudiagramm Index)	Wasserqualität für Minenstandorte (USA)	KIM & CARDONE (2005)
Overall Index of Pollution (Gesamtverschmutzungsgrad Index)	Gewässergüte, Indien	SARGAONKAR & DESHPANDE (2003)
Water Quality Index for Taiwan (Index zur Gewässergüte in Taiwan)	Gewässergüte, Taiwan	LIU et al. (2004)

## Chemischer Index nach BACH

Zur Bestimmung der Gewässergüte nach BACH (BACH 1980) wird ein multiplikativer Index verwendet. Dazu werden tabellarische Indexwerte der Messgrößen pH-Wert, spezifische elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffkonzentration, biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB), Gewässertemperatur, Ammonium, Nitrat und Phosphat verwendet. Dieser Ansatz bewirkt, dass Extremwerte einen größeren Einfluss auf die Gesamtberechnung ausüben. In Analogie haben ebenfalls Extremwerte einen größeren Einfluss auf die Wasserqualität.

## Deutscher Saprobienindex

In Deutschland sind die Methoden der biologisch-ökologischen Gewässeruntersuchung im Hinblick auf die Gewässergütebestimmung in der DIN 38 410 (DIN 1990) beschrieben. Als Maß für die Bewertung der Gewässergüte dient der Saprobienindex.

Dieser Index basiert auf den Arbeiten von KOLKWITZ & MARSON (1902), die die Reaktion von Pflanzen und Tiergemeinschaften in Gewässern auf unterschiedlich hohe organische Belastungen untersuchten. Zur heutigen Bestimmung werden Tabellen herangezogen, in denen Indikatororganismen aufgeführt sind. Jedem dieser Organismen sind Parameter zugeordnet, sog. Saprobiewerte, die die Gewässergüte kennzeichnen, in denen der Organismus normalerweise zu finden ist (ROLAUFFS et al. 2003). Zusätzlich ist ein Indikationsgewicht angegeben, welches anzeigt, wie stark dieser Organismus auf eine mögliche Veränderung der Wasserqualität reagiert. Die Index-Berechnung erfolgt auf Grundlage der Auftrittshäufigkeit der jeweiligen Organismen.

## Canadian Water Quality Index

Der Canadian Water Quality Index (Kanadischer Gewässergüte Index - CWQI) vergleicht Beobachtungsdaten mit Wasserqualitätsstandards oder ortsspezifischen Hintergrundwerten (CCME 2001, KHAN et al. 2003, LUMB et al. 2006). Der CWQI quantifiziert stationsweise für einen vorbestimmten Zeitraum (i. d. R. ein Jahr), die Anzahl der Parameter, die einen vorgegebenen Schwellenwert überschreiten sowie das Ausmaß dieser Überschreitung.

Da die Schwellenwerte unterschiedlich festgelegt werden, ist der Index flexibel einsetzbar. So ist er auf Basis von Richtlinien zum Schutz ökologischer Systeme, aber auch auf Basis von Richtlinien zur Trinkwasserqualität einsetzbar. Alternativ können mit ihm auch Abweichungen von stationsbezogenen oder regionalen Hintergrundwerten beschrieben werden.

Die Indexberechnung generiert Zahlen zwischen 1 und 100, wobei 1 die schlechteste und 100 die beste Wasserqualität anzeigt. Für eine detaillierte Klassifikation wurden vom kanadischen Umweltministerium (Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME 2005) fünf Stufen eingeführt:

Tab.20: Bezeichnung der Wassergüte nach CCME (2005)

Bezeichnung (Originalbezeichnung)	Indexwert	Beschreibung
ausgezeichnet (excellent)	95 - 100	Alle Messungen liegen jederzeit innerhalb vorgegebener Grenzen.
gut (good)	80 - 94	Bedingungen weichen selten vom natürlichen Hintergrundwert bzw. dem wünschenswerten Niveau ab.
befriedigend (fair)	65 - 79	Bedingungen weichen manchmal vom natürlichen Hintergrundwert bzw. dem wünschenswerten Niveau ab.
mäßig (marginal)	45 - 64	Bedingungen weichen häufig vom natürlichen Hintergrundwert bzw. dem wünschenswerten Niveau ab.
schlecht (poor)	0 - 44	Bedingungen weichen in der Regel vom natürlichen Hintergrundwert bzw. dem wünschenswerten Niveau ab.

## Chemical Water Quality Index

TSEGAYE et al. (2006) entwickelten einen chemischen Gewässergüte-Index, der auf Daten von 18 Fließgewässern aus dem Einzugsgebiet eines Sees in Alabama basieren. Dazu wurden sieben Parameter (Gesamt-Stickstoff, Blei (gelöst), gelöster Sauerstoff, pH-Wert, Gesamt-Phosphor, gelöster Phosphor und partikulärer Phosphor) erfasst, ein jeweiliger Bezug zu den normierten Maximalwerten hergestellt und daraus ein Indikator abgeleitet.

## Scatterscore Index

Der Scatterscore Index (Streudiagramm Index) wurde von KIM & CARDONE (2005) entwickelt, um die zeitlichen und räumlichen Veränderungen (positive, negative und zufällige) von Parametern im Umfeld von Minenstandorten in den USA beurteilen zu können. Dazu wird ein Streudiagramm verwendet, das zur Darstellung der unterschiedlichen Veränderungsrichtungen dient. Der Index ist nicht an Wasserqualitätsstandards angelehnt und kann für eine unbegrenzte Anzahl von Parametern und für beliebige Standorte angewendet werden.

## Overall Index of Pollution

SARGAONKAR & DESHPANDE (2003) entwickelten den Overall Index of Pollution (OIP) (Gesamt-Verschmutzungsgrad-Index) zur Bewertung indischer Flüsse. Der OIP basiert auf den Messungen und anschließender Klassifikation der Parameter pH-Wert, Trübung, Sauerstoffgehalt, biochemischer Sauerstoffbedarf (BOD), Wasserhärte, gelöste Stoffe (TDS), gesamtcoliforme Bakterien, Arsen und Fluorid. Jeder Beobachtung wird ein Indexwert für den Verschmutzungsgrad (Pollution Index Value) zugewiesen, aus denen ein Mittelwert des OIP gebildet wird.

Die vorgenommene Beurteilung besitzt fünf Stufen („Excellent“, „Acceptable“, „Slightly Polluted“, „Polluted“ und „Heavily Polluted“) und folgt damit nationalen Standards und/oder den anerkannten Leitlinien der World Health Organization oder der Europäischen Gemeinschaft.

## Water Quality Index of Taiwan

LIU et al. (2004) entwickelten einen Index zur Bestimmung der Gewässergüte in Taiwan. Dazu werden mehrere ausgewählte Gewässergüteparameter zusammengeführt, aus denen ein Indexwert errechnet wird. Als Eingangsgrößen werden die standardisierten Werte für Temperatur, pH-Wert, gelöster Sauerstoff, Ammonium, biochemischer Sauerstoffbedarf (BOD), Trübung und Mikroorganismen (fäkalcoliforme Bakterien) benutzt. Das Ergebnis wird auf eine Skala bezogen, wobei 100 eine ausgezeichnete und 0 eine schlechte Wasserqualität widerspiegeln.

### Quellen (Stand 28.10.13)

Bach, E. (1980): Ein chemischer Index zur Überwachung der Wasserqualität von Fließgewässern. – Dt. gewässerkundl. Mittl., 24, 102-106.

CCME (2001): Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User's manual. In: *Canadian Environmental quality guidelines*, 5 p. [eds. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Manitoba]

CCME (2005): Canadian Environmental Sustainability Indicators, Freshwater Quality Indicator: Data Sources and Methods. - Catalogue no. 16-256-XIE.

DIN (1990): DIN 38410. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung (Gruppe M) - Teil 1: Bestimmung des Saprobienindex in Fließgewässern.

Khan, F., Husain, T. & Lumb, A. (2003): Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada. - *Environmental Monitoring and Assessment*, 88:221-242.

Kim, A.G. & Cardone, C.R. (2005): Scatterscore: a reconnaissance method to evaluate changes in water quality. - *Environmental Monitoring and Assessment*, 111:277-295.

Kolkwitz, R. & Marsson, M. (1902): Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. - *Mitteilungen der königlichen Prüfanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung* 1: 33-72 (Berlin-Dahlem).

Liou S. M., Lo, S.L. & Wang, S. H. (2004): A generalised water quality index for Taiwan. - Environmental Monitoring and Assessment, 96: 35-32.

Lumb, A., Halliwell, D. & Sharma, T. (2006). Application of the CCME Water quality index to monitor water quality: a case study of the Mackenzie River Basin, Canada. - Environmental Monitoring and Assessment, 113:411-429.

Pesce, S. F. & Wunderlin, D. A. (2000): Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Suquia River. - Water Research, 34: 2915-2926.

Rolauffs, P., Hering, D., Sommerhäuser, M., Jähnig, S. & Rödiger, S. (2003): Entwicklung eines leitbildorientierten Saprobienindexes für die biologische Fließgewässerbewertung. - Umweltbundesamt Texte 11/03. 137 S.

Sargaonkar, A. & Deshpande, V. (2003): Development of an overall index of pollution for surface water based on a general classification scheme in Indian context. - Environmental Monitoring and Assessment 89:43-67.

Stambuk-Giljanovik, N. (2003): Comparison of Dalmation water evaluation indices. - Water Environment Research, 75(5):388-405.

Tsegaye, T., Sheppard, D., Islam, K.R., Johnson, A., Tadesse, W., Atalay, A. & Marzen, L. (2006): Development of chemical index as a measure of in-stream water quality in response to land-use and land cover changes. - Water, Air, and Soil Pollution, 174: 161-179.

## Gewässerkundliche Hauptwerte

Aus den kontinuierlichen Messungen von Wasserständen (W) und Abflussmengen (Q) werden eine Reihe von Hauptwerten (bzw. Hauptzahlen) abgeleitet, die für gewässerkundliche Fragestellungen und die Wasserwirtschaft von Bedeutung sind ([www.hnd.bayern.de](http://www.hnd.bayern.de)). Die Daten werden in gewässerkundlichen Jahrbüchern gesammelt. Aus den Beobachtungsdaten werden nach statistischer Auswertung **Bemessungswasserstände** bzw. die **Jährlichkeit** von z.B. Hochwasserereignissen abgeleitet.

Tab.21: Auswahl wichtiger gewässerkundlicher Hauptwerte

Beschreibung	Wasserstand W [cm]	Abfluss Q [m <sup>3</sup> /s]	Erläuterung
Höchster Hochwasserstand	HHW	HHQ	Höchster Wert, der am Messpunkt jemals beobachtet wurde. Der zugehörige Zeitpunkt ist anzugeben.
Höchster Wert gleichartiger Zeitabschnitte in einem Beobachtungszeitraum	HW	HQ	Höchster Wert, der am Messpunkt im gewählten Beobachtungszeitraum beobachtet wurde (z. B.: HW 1971/90, bedeutet höchster Wert in den Jahren 1971 bis 1990).
Mittlerer höchster Wert gleichartiger Zeitabschnitte in einem Beobachtungszeitraum	MHW	MHQ	Arithmetisches Mittel der höchsten Werte gleichartiger Zeitabschnitte in einem Beobachtungszeitraum. Anzugeben sind Zeitspanne und Zeitabschnitte, z.B.: MHW 1971/80 ist das Mittel aus den HW-Werten der 10 Einzeljahre 1971 bis 1980.
Mittelwert gleichartiger Zeitabschnitte einer Zeitspanne	MW	MQ	Arithmetisches Mittel aller Tageswerte des Beobachtungszeitraums, Angabe der Zeitspanne oder des Zeitabschnitts notwendig (Tages-, Monats-, Halbjahres- oder Jahresmittel). Ist kein Zeitabschnitt (Monat, Halbjahr) hinzugefügt, so ist stets das volle Jahr gemeint.
Mittlerer niedrigster Wert gleichartiger Zeitabschnitte in einem Beobachtungszeitraum	MNW	MNQ	Arithmetisches Mittel der niedrigsten Werte gleichartiger Zeitabschnitte in einem Beobachtungszeitraum. Anzugeben sind Zeitspanne und Zeitabschnitte, z.B.: MNW 1971/80 ist das Mittel aus den NW-Werten der 10 Einzeljahre 1971 bis 1980.
Niedrigster Wert gleichartiger Zeitabschnitte in einem Beobachtungszeitraum	NW	NQ	Niedrigster Wert, der am Messpunkt im gewählten Beobachtungszeitraum beobachtet wurde (z. B. NW 1971/90, bedeutet niedrigster Wert in den Jahren 1971 bis 1990).
Niedrigster Niedrigwasserstand	NNW	NNQ	Niedrigster Wert, der am Messpunkt jemals beobachtet wurde. Der zugehörige Zeitpunkt ist anzugeben.

Beschreibung	Wasserstand W [cm]	Abfluss Q [m <sup>3</sup> /s]	Erläuterung
Niedrigstes arithmetisches Mittel von x aufeinanderfolgenden Tageswerten in Niedrigwasserzeitabschnitten	NMxW	NMxQ	Siehe Beschreibung
Scheitelwert, der in einer Zeitspanne von T Jahren durchschnittlich einmal erreicht oder überschritten wird		HQ <sub>T</sub>	Ingenieurtechnisch ermittelter, wahrscheinlich erreichter Hochwasserscheiteldurchfluss (HQ) innerhalb der Zeitspanne T (z.B. HQ <sub>100</sub> = 1500 m <sup>3</sup> /s: Statistisch tritt innerhalb von 100 Jahren wahrscheinlich ein Hochwasserdurchfluss von 1500 m <sup>3</sup> /s auf) ( <a href="http://www.undine.bafg">www.undine.bafg</a> ). Scheitelwerte werden i. A. für Jahre oder Halbjahre gebildet.

Quellen (Stand 28.10.13)

<http://www.hnd.bayern.de>

<http://www.undine.bafg>

## Globalstrahlung

Als Globalstrahlung wird die Summe der auf eine horizontale Fläche eintreffenden Solarstrahlung bezeichnet. Sie wird in Watt pro Quadratmeter angegeben. Die Globalstrahlung setzt sich aus der direkten Sonnenstrahlung und der diffusen Himmelstrahlung zusammen. Die direkte Strahlung ist die auf direktem Weg von der Sonne eintreffende Solarstrahlung. Die diffuse Himmelstrahlung gelangt über Reflexion und Streuung an Molekülen, Wasserpartikeln (Wolken, Nebel) und Staubpartikeln (Aerosolen) an die Erdoberfläche. Bei klarem Himmel überwiegt der Anteil an direkter Sonnenstrahlung, bei bewölktem Himmel besteht die Globalstrahlung ausschließlich aus diffuser Strahlung.

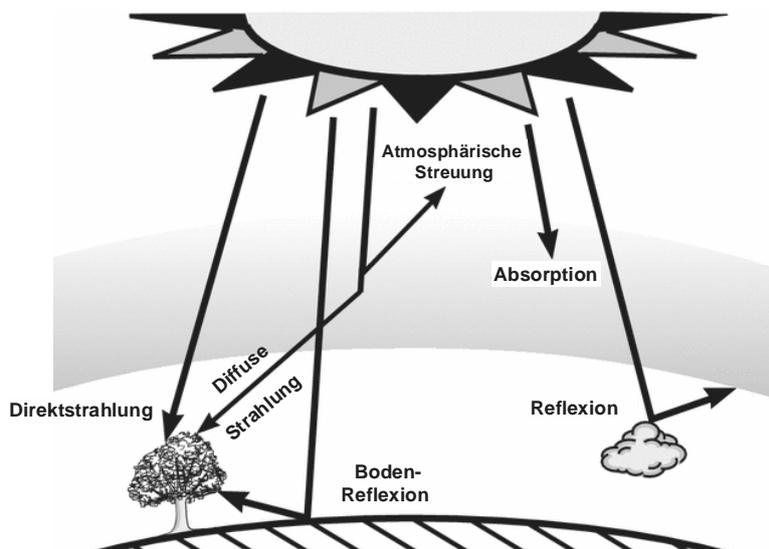


Abb.3: Komponenten der Globalstrahlung ([www.newport.com](http://www.newport.com)), verändert

In den gemäßigten Breiten ist der Anteil beider Strahlungsarten im Jahresmittel etwa gleich groß. Die Globalstrahlung ist abhängig von geographischer Breite, Tageszeit, Jahreszeit und dem Wolkenbedeckungsgrad. Die Stärke der tatsächlich auf den Boden auftreffenden Strahlung hängt auch von der Geländeform ab, genauer dem Winkel, unter dem die Sonnenstrahlung

lung auftritt. Die Geländeform hat vor allem im Weinanbau eine besondere Bedeutung, da bei größerer Hangneigung eine stärkere Erwärmung des Bodens erfolgt ([www.deutscher-wetterdienst.de](http://www.deutscher-wetterdienst.de)).

Die mittlere Jahressumme der Globalstrahlung variiert in Deutschland von circa 900 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (Sauerland) über 1.000 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (Region Berlin/Brandenburg) bis zu 1.160 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (Freiburg) ([www.solartechnikberater.de](http://www.solartechnikberater.de)). Ab einem Wert von 120 W/m<sup>2</sup> spricht man von Sonnenschein ([www.energie-visions.de](http://www.energie-visions.de)).

**Quellen** ((Stand: 31.07.12)

<http://www.deutscher-wetterdienst.de>

<http://www.energie-visions.de>

<http://www.newport.com>

<http://www.solartechnikberater.de>

## Green City Index

Der Green City Index wurde von der Economist Intelligence Unit in Kooperation mit der Siemens AG entwickelt. Mit seiner Hilfe werden Großstädte hinsichtlich ihrer **Nachhaltigkeit** im Umgang mit Ressourcen sowie ihres Engagements für mehr Umweltschutz bewertet. Diese Bewertung erfolgt in acht Kategorien (CO<sub>2</sub>, Energie, Gebäude, Verkehr, Wasser, Abfall-Landnutzung, Luftqualität und Umweltmanagement) auf Basis von 30 Einzelindikatoren. 16 dieser Indikatoren stützen sich auf quantitative Daten, die Aufschluss über die derzeitige Situation der Städte geben, beispielsweise über die CO<sub>2</sub>-Emissionen, den Energieverbrauch, das Abfallaufkommen pro Kopf oder die Luftverschmutzung. Die übrigen 14 Indikatoren sind qualitativer Natur und bewerten die Strategien, Ziele und Ambitionen der einzelnen Städte, um ihren Einfluss auf die Umwelt zu reduzieren ([www.siemens.com](http://www.siemens.com)).

Der German Green City Index und der European Green City Index basieren auf derselben Methodik, um eine Vergleichbarkeit der Städte miteinander zu ermöglichen. Allerdings erfolgte die Datenerfassung zu unterschiedlichen Zeitpunkten, weswegen keine vollständige Vergleichbarkeit möglich ist.

**Quellen** (Stand 28.10.13)

<http://www.siemens.com>

## Grundhochwasser

Unter einem Grundhochwasser versteht man einen zeitlich begrenzten, unkontrollierten Anstieg des Grundwasserstandes. Grundhochwasser kann durch ein Flusshochwasser, eine erhöhte Grundwasserneubildung, eine Einstellung von Grundwasserhaltungsmaßnahmen oder durch Veränderungen aufgrund von Baumaßnahmen entstehen ([KÖPPKE et al. 2012](#), [LANDESHAUPTSTADT DRESDEN 2010](#)).

**Quellen** (Stand 28.10.13)

Köppke, K.-E., Sterger, O., Stock, M. & Selbmann, B. (2012): Grundlagen für die Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS) 310: Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser. – UBA-Bericht UBA-FB 1691, 188 S.

Landeshauptstadt Dresden (2010): Umweltbericht Grundwasser. – 112 S.

## Grundwasserleiter

Ein Grundwasserleiter ist ein Gesteinskörper mit Hohlräumen, der zur Leitung von Grundwasser geeignet ist (DIN 1994). Er erstreckt sich nur über die gesättigte Zone, d. h. über den Bereich, der vollständig mit Wasser gefüllt ist (vgl. dazu Aquifer). Es gibt drei Arten von Grundwasserleitern: Porengrundwasserleiter, Kluftgrundwasserleiter und Karst-Grundwasserleiter.

**Quellen** (Stand 28.10.13)

DIN (1994): DIN 4049-3, Hydrologie - Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie, 80 S.

## Grundwasserneubildung

Grundwasserneubildung bezeichnet den Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser. Dazu zählen die Infiltration von Niederschlägen in den Boden, die Infiltration oberirdischer Gewässern in den Untergrund und künstliche Neubildungsbeiträge durch Grundwasseranreicherungen oder Beregnungen. Zur flächendifferenzierten Berechnung wird häufig die Wasserhaushaltsgleichung bzw. die **klimatische Wasserbilanz** herangezogen.

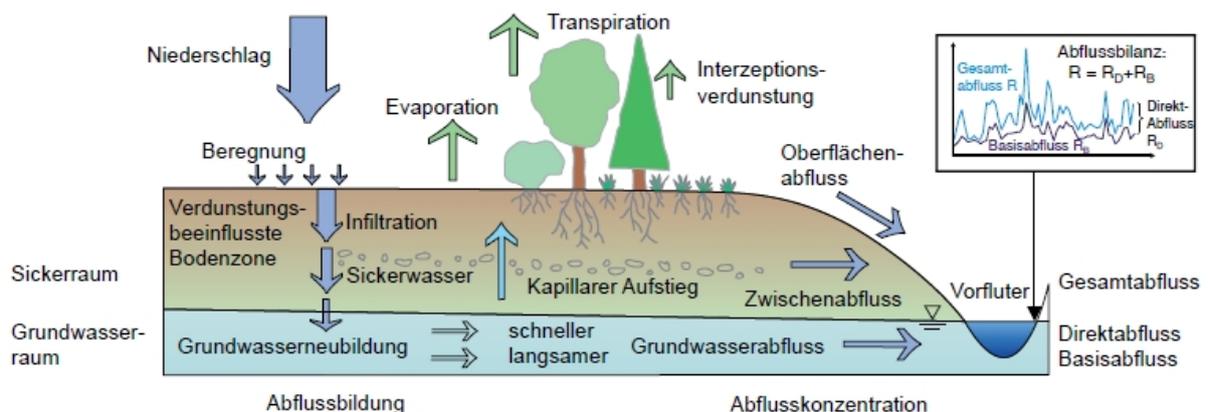


Abb.4: Schema der Grundwasserneubildung (Quelle: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de))

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlägen wird von folgenden Faktoren bestimmt: klimabedingte Faktoren (Niederschlag, Evapotranspiration), bodenbürtige Faktoren (Infiltrationsvermögen, Wassergehalt, *nutzbare Feldkapazität*, *Grundwasserflurabstand*) und Faktoren der Landnutzung (Nutzungsart und -form, Versiegelungsgrad). Wegen der hohen Flächenverdunstung in den Sommermonaten sowie aufgrund der Wasserverbräuche von Pflanzen während der **Vegetationsperiode** findet eine nennenswerte Versickerung von Niederschlägen hauptsächlich zwischen Oktober und März statt.

Zur Ermittlung der Grundwasserneubildung existiert eine große Anzahl von Berechnungsverfahren. Die in Deutschland am häufigsten angewendeten Verfahren sind nachfolgend aufgeführt.

## Verfahren nach JOSOPAIT & LILLICH

Das Verfahren nach [JOSOPAIT & LILLICH \(1975\)](#) wurde zur Abschätzung der Grundwasserneubildung im Maßstab 1:200.000 für das niedersächsische Flachland entwickelt. Die Methodik geht davon aus, dass vor allem der Niederschlag, die Bodenart und der Bewuchs die Grundwasserneubildungsrate steuern. Anhand bodenkundlicher und geologischer Karten werden grundwassernahe Standorte (d. h. hier befindet sich der Grundwasserspiegel in der wechselfeuchten Bodenzone) abgegrenzt. Die geologischen Einheiten werden zu den Einheiten Sand, Geschiebelehm und Sandlöß zusammengefasst. Aus topographischen Karten erfolgt die Ableitung der Landnutzung für die drei Klassen Acker- bzw. Grünland, Heide und Wald.

Der Wasserüberschuss (= Differenz aus mittlerem Jahresniederschlag und realer Evapotranspiration) entspricht bei fehlender Grundwasserbeeinflussung der Sickerwassermenge, die aus Lysimetergleichungen ([DYCK & CHARDABELLAS 1963](#)) berechnet werden kann. Für grundwasserbeeinflusste Böden werden je nach Bodentyp und *Flurabstand* (dies ist der Höhenunterschied zwischen Erdoberfläche und Grundwasseroberfläche) entweder Pauschalwerte für den Wasserüberschuss eingesetzt (150 – 200 mm/a) oder aber ein Betrag von 50 mm/a von der errechneten Sickerwasserhöhe abgezogen, um die durch die Grundwasserbeeinflussung erhöhte Verdunstung zu berücksichtigen.

Zur Abschätzung des oberirdischen Abflusses werden vier Gebietstypen verwendet: Bereiche mit sehr hohem, hohem bis mittlerem, gelegentlichem und keinem Oberflächenabfluss. Je nach Relief (Oberflächengestalt des Geländes), Bebauung, Infiltrationsvermögen, Entfernung zum *Vorfluter* und dem *Flurabstand* erhalten die Gebiete Werte zwischen 0 und 200 mm/a. Die Grundwasserneubildungsrate errechnet sich schließlich aus der Differenz von Wasserüberschuss und Oberflächenabfluss.

Ein großer Schwachpunkt dieses Ansatzes liegt darin, dass bei der Klassifizierung der Landnutzung weder Acker- und Grünland noch Laub-, Nadel- bzw. Mischwald differenziert werden.

## Verfahren nach DÖRHÖFER & JOSOPAIT

Das Verfahren nach [DÖRHÖFER UND JOSOPAIT \(1980\)](#) wurde im Maßstab von 1:200.000 entwickelt. Als Eingangsgrößen gehen die Kenngrößen Evapotranspiration, Niederschlag, *Grundwasserflurabstand* und Relief ein. Grundsätzlich können mit diesem Verfahren beliebige Niederschlagswerte verarbeitet werden. Es wird jedoch die Nutzung der mittleren Niederschlagshöhen aus mehrjährigen Zeitreihen empfohlen. Das Verfahren eignet sich sowohl für Lockergesteins- wie auch Festgesteinsbereiche. Es kam bisher überwiegend in Niedersachsen zur Anwendung ([MEYER & TESMER 2000](#)).

Das Verfahren nutzt den direkten Zusammenhang im humiden Klima (zwischen 600 und 1.000 mm/a), wo steigende Niederschlagshöhen mit steigenden Abflusshöhen einhergehen. Zusätzlich wird der Einfluss des Grundwassers auf die Verdunstungsvorgänge berücksichtigt. Des Weiteren wird eine Beziehung zwischen der Bodenart, dem Bewuchs und der realen Evaporationshöhe hergeleitet. Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Verdunstung von der mittleren Korngröße des Bodens greift man auf Lysimeterdaten zurück.

Den Nutzungsarten Acker-/Grünland, Wald und vegetationslosem Boden werden Verdunstungswerte in 12 Evaporationsstufen (ET-Stufen), beginnend mit 225 mm/a unter Verwendung von 25 mm/a-Schritten, zugeordnet. Grundwassernahe Böden (*Flurabstand* von <0,8 m) liegen unabhängig von der Nutzungsart in der höchsten Stufe 575-600 mm/a.

Zur Berücksichtigung des Direktabflusses werden Teilflächen verschiedene Abflussstufen zugeordnet, die das Verhältnis von Gesamtabfluss zu unterirdischem Abfluss ( $A_{\text{Ges}}/A_{\text{U}}$ ) widerspiegeln. Sie stellen ein Maß für die Reliefenergie bzw. den *Grundwasserflurabstand*

dar. Dabei wird davon ausgegangen, dass hohe Direktabflüsse sowohl bei steilem Relief wie auch bei grundwassernahen Böden auftreten.

Die Ableitung der Grundwasserneubildungshöhe (Stufen von je 50 mm/a) erfolgt schließlich unter Einbeziehung der ET-Stufe, der Abflussstufe und der Höhe der korrigierten Niederschlagsmenge.

Das Verfahren wird durch die verschiedenen Eingangsparameter limitiert. So wird häufig bei der Klassifikation von Forststandorten nicht zwischen Laub-, Nadel- und Mischwald unterschieden, was sich negativ auf die Berechnung der Evaporation auswirkt. Zudem ist die Ableitung des Versiegelungsgrades aus topographischen Karten in vielen Fällen nicht möglich. Die Erhebung der Reliefenergie aus digitalen Höhenmodellen oder topologischen Karten ist z. T. ebenfalls mühsam. Trotz dieser Einschränkungen ist das Verfahren allgemein anerkannt und wurde z. B. bei wasserwirtschaftlichen Rahmenplanungen angewendet (HAAS 1987). GROSSMANN (1997) kritisierte bei der flächendifferenzierten Berechnung der Grundwasserneubildungsrate im Großraum Hamburg, dass bei der generalisierten Verwendung der Kategorie „grundwassernahe Böden“ nicht zwischen den einzelnen Nutzungstypen unterschieden wird.

### VERFAHREN NACH SCHROEDER & WYRWICH

Das Verfahren nach SCHROEDER & WYRWICH (1990) ist eine Weiterentwicklung des Verfahrens nach DÖRHÖFER UND JOSOPAIT (1980). Mit ihm wird die Sickerwasserrate flächendifferenziert in einem Raster von 2 km Kantenlänge ermittelt. Anwendung fand es in Teilen Nordrhein-Westfalens.

Die mittlere unkorrigierte Jahresniederschlagsmenge leitet man aus Gleichenkarten (diese zeigen die flächenhafte Verteilung der Niederschlagsmengen) im Maßstab 1:200.000 ab. Landnutzung und Bodengruppen werden aus den entsprechenden Karten im Maßstab 1:50.000 entnommen. Hierbei wird der Boden in terrestrische Sandböden, terrestrische Lehmböden, sowie semiterrestrische Böden (Aueböden, Gleye, Marschen) mit flach anstehendem Grundwasser bzw. lang anhaltendem Stauwasser unterteilt. Bei der Landnutzung unterscheidet man zwischen Acker-/Grünland, Nadelwald, Mischwald, Laubwald, Gewässer und versiegelten Flächen. Die Verdunstungswerte richten sich nach den verschiedenen Nutzungsarten. Diese werden in Abhängigkeit von der Bodengruppe pauschal aus Tabellen zugeordnet.

Tab.22: Mittlere Verdunstungshöhen für verschiedene Bodengruppen und Nutzungen

	Acker- und Grünland	Laubwald	Mischwald	Nadelwald	Bebaute Flächen	Wasserflächen
Terrestrische Sandböden	380	480	540	600	0,2 x N	1,0 x N
Terrestrische Lehmböden	440	540	600	660		
Semiterrestrische Böden	560	650	700	750		

N: Niederschlagsmenge in mm/a

Zur Abschätzung des Direktabflusses werden neben der Reliefenergie auch Bewuchs und Bodengruppe herangezogen. Aus Tabellen ist der prozentuale Anteil des Direktabflusses am Wasserüberschuss zu entnehmen. Für bebaute Flächen wird davon ausgegangen, dass jegliches Wasser, das nicht verdunstet, direkt abfließt. Unter Waldgebieten und auf Wasserflächen findet kein Direktabfluss statt.

Bei der Berechnung der Direktabflussanteile bleiben Ackerfurchen und abflusslose Senken unberücksichtigt (BORK 1988). Während Ackerfurchen den Oberflächenabfluss begünstigen,

vermindern abflusslose Senke diese Abflusskomponente. [GROSSMANN \(1997\)](#) stellte darüber hinaus fest, dass bei Messstationen, an denen Niederschlagshöhen um 600 mm/a gemessen wurde, eine zu geringe Grundwasserneubildungsrate berechnet wird.

### **Verfahren nach MEßER**

Das Verfahren nach [MEßER \(1997\)](#) ist eine Weiterentwicklung des Verfahrens nach [SCHROEDER & WYRWICH \(1990\)](#) und wurde für den urbanen Raum konzipiert. Das Verfahren berücksichtigt den Boden, die Nutzung sowie den Versiegelungsgrad, der in Versiegelungsstufen angegeben wird. Im Gegensatz zu [SCHROEDER & WYRWICH](#) erfolgt die Bestimmung des Direktabflussanteiles nicht über Spannweiten sondern mit fest tabellierten Werten für die jeweilige Reliefenergie. Für bebauten Gebiete und Parkanlagen werden hierzu Mischvegetationen eingeführt. Zudem erfolgt eine differenzierte Betrachtung der Flurabstände, da die Bodentypen in den Bodenkarten wegen anthropogener Veränderungen nicht mehr den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen.

### **VERFAHREN NACH RENGER & WESSOLEK**

Das Verfahren nach [RENGER & WESSOLEK \(1990\)](#) basiert auf den Arbeiten von [RENGER & STREBEL \(1980\)](#), die aus Sickerwasser-Messdaten, unter Verwendung eines Bodenwasserhaushaltsmodells Regressionsbeziehungen für die mittlere jährliche Grundwasserneubildung ableiteten. Das daraus modifizierte Verfahren wurde für ebene Standorte im Lockergesteinsbereich, ohne Berücksichtigung des oberirdischen Abflusses und des Zwischenabflusses, entwickelt. Vereinfacht geht man hierbei davon aus, dass die Differenz zwischen Niederschlag und realer Verdunstung der Grundwasserneubildung entspricht. Als Voraussetzung hierfür muss der Bodenwasserspeicher zu Beginn der Vegetationsperiode bis zur *Feldkapazität* gefüllt sein, d. h. er kann noch bis zu 3 Tagen das Wasser gegen die Schwerkraft halten.

In die verwendeten Gleichungen gehen unkorrigierte Niederschlagshöhen und die potentielle Evaporation nach [HAUDE](#) ein. In Gebieten mit erhöhter Luftfeuchtigkeit kann der Einsatz des [HAUDE](#)-Verfahrens jedoch zu fehlerhaften Berechnungen führen. Das Verfahren wurde von [WESSOLEK \(1992\)](#) für lokale Verhältnisse erweitert und u. a. von [KLAASSEN & SCHEELE \(1996\)](#) in Hessen eingesetzt.

### **TUB-BGR-Verfahren**

Das TUB-BGR-Verfahren ([WESSOLEK et al. 2004](#)) ist die Weiterentwicklung des Verfahrens nach [RENGER & WESSOLEK \(1990\)](#). Durch die Modifikation der bisher verwendeten Regressionsgleichungen kann das Verfahren nun bundesweit angewendet werden. Die Bearbeitung dazu wurde in Zusammenarbeit von der Technischen Universität Berlin (TUB) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) durchgeführt. An Stelle der [HAUDE](#)-Verdunstung wurde darüber hinaus die bundesweit einheitliche [FAO-Gras-Referenzverdunstung](#) verwendet.

Die acht Regressionsgleichungen berechnen die Sickerwasserraten für die Nutzungen Acker, Grünland, Nadel- und Laubwald jeweils für grundwassernahe sowie grundwasserferne Standortbedingungen. Davon abweichende Landnutzungsarten müssen in diese Systematik eingeordnet werden. Als Eingangsparameter werden folgende Größen verwendet: Mittlere korrigierte jährliche Niederschlagshöhe, Mittlere korrigierte jährliche Niederschlagshöhe des Sommerhalbjahres, mittlere jährliche potentielle Verdunstungshöhe als Gras-Referenzverdunstung, effektive Durchwurzelungstiefe, *nutzbare Feldkapazität*, mittlere Grundwassertiefstand.

## Einschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell (BWHM)

Das Einschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell (BWHM) wurde auf Basis von Abfluss- und Lysimetermessungen entwickelt. Es berechnet die Abhängigkeit von Klima, Landnutzung und Bodeneigenschaften durch die Bilanzierung des Wasserhaushaltes und der aktuellen Evapotranspiration für einen Bilanzierungsraum. Bei der Berechnung werden Landnutzungs-klassen verwendet, die die phänologische Entwicklung der Pflanzen, Interzeptionsverdunstung für Waldflächen und den kapillaren Aufstieg für grundwasserbeeinflusste Böden berücksichtigen. Als klimatische Eingangsgrößen gehen standortkorrigierte Niederschlagswerte und die Grasreferenzverdunstung ein.

In einem zweiten Schritt findet eine Trennung der Abflusskomponenten (vgl. [Abflussganglinie](#)) in Basisabfluss und Direktabfluss statt. Dabei werden klimatische Verhältnisse, Landnutzung, Morphologie, Pedologie, Hydrologie und Hydrogeologie berücksichtigt. Zur Beschreibung wird der Baseflow-Index (BFI) verwendet, der das Verhältnis aus Basisabfluss ( $Q_{\text{Basis}}$ ) und Gesamtabfluss ( $Q_{\text{Gesamt}}$ ) betrachtet. Im langjährigen Mittel kann die Grundwasserneubildung (GWNB) mit dem Basisabfluss gleichgesetzt werden.

Durch eine Regressionsanalyse wird ein statistischer Zusammenhang zwischen Einzugsgebietspezifischen BFI-Werten und unabhängigen Gebietsmerkmalen (Bodeneigenschaften, Geologie) gezogen und die BFI-Werte flächendifferenziert für ein vorgegebenes Raster berechnet.

Zur Modellierung der Grundwasserneubildung in Hessen kam ein zweistufiges GIS-gestütztes Verfahren zum Einsatz, bei dem ein empirisches BWHM nach [GROSSMANN \(1998\)](#) und [DOMMERMUTH & TRAMPF \(1991\)](#) mit einem speziell für Hessen entwickelten Regressionsmodell ([HERGESELL & BERTHOLD 2005](#)) gekoppelt wurde. Vergleichbare Verfahren wurden auf Bundesebene zur Erstellung des Hydrologischen Atlas von Deutschland (HAD) sowie auf Länderebene in Baden-Württemberg und Bayern angewendet.

## Verfahren nach BAGROV-GLUGLA

Das Verfahren nach BAGROV-GLUGLA ([BAGROV 1953](#), [GLUGLA et al 1976](#)) berechnet die Grundwasserneubildung auf Basis der potentiellen Evapotranspiration (nach TURC und PENMAN) sowie bewuchs- und bodenart-spezifischen Niederschlagswerten. Die Ermittlung erfolgt dabei über ein Nomogramm ([GLUGLA & THIEMER 1971](#)). Von der modifizierten Niederschlagshöhe wird der Direktabfluss subtrahiert, um den effektiven Niederschlag ( $N_{\text{eff}}$ ) zu erhalten. Das Verfahren berücksichtigt die Nutzungsarten vegetationsloser Böden sowie landwirtschaftliche, gärtnerische oder forstwirtschaftliche Nutzung. Aus Tabellenwerken und Diagrammen werden in Abhängigkeit von Bewuchs und Bodenart Effektivitätsparameter ermittelt.

Das Verfahren gilt zunächst nur für Flächen mit flurfernem Grundwasser. Bei Flächen mit flurnahem Grundwasser muss der dadurch entstehende Grundwassereinfluss anhand der mittleren effektiven Durchwurzelungstiefe, des mittleren Grundwasserstandes und der mittleren kapillaren Aufstiegshöhe berücksichtigt werden. Die aktuelle Verdunstung wird aus einem Nomogramm abgeleitet, für die ein Effektivitätsparameter sowie der Quotient aus  $N_{\text{eff}}$  und  $ET_{\text{Pot}}$  herangezogen werden. Zieht man von  $N_{\text{eff}}$  die aktuelle Verdunstung ab, so erhält man die Grundwasserneubildung.

Das Verfahren eignet sich gut für den Einsatz in Lockergesteinsbereichen. Es eignet sich für freie Grundwasserleiter bis zu einer maximalen *Teufe* von 30 m ([BIERSTEDT 1991](#)) und wird häufig im ostdeutschen Raum angewendet, wie bei der Erstellung des Umweltatlas von Berlin (2007) ([www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas)).

Problematisch an dem Verfahren sind die aufwendige Handhabung bei der Ableitung des Effektivitätsparameters und der aktuellen Evapotranspiration aus Nomogrammen. Die Ab-

leitung von Bodenkenngößen, des *Grundwasserflurabstandes* und der *kapillaren Aufstiegsrate* aus Karten sind ebenfalls nicht trivial. Das Verfahren wurde z.B. in das Abflussbildungsmodell ABIMO implementiert, wodurch die Ableitung des Effektivitätsparameters per Software erfolgt (GLUGLA & FURTIG 1997).

## Modellansatz GROWA

Das Modell GROWA (Großräumiger Wasserhaushalt) ist ein GIS-gestütztes empirisches Modell zur flächendifferenzierten Bestimmung der mittleren mehrjährigen Wasserhaushaltsgrößen. Es wurde am Forschungszentrum Jülich im Hinblick auf die Anforderungen der EU-WRRL für das Flusseinzugsgebiet der Elbe entwickelt (KUNKEL & WENDLAND 1998) und vom LBEG Hannover modifiziert. Weitere Einsatzgebiete des Modells in angepasster Form waren u. a. Niedersachsen (DÖRHÖFER et al. 2001) und Nordrhein-Westfalen (BOGENA et al. 2003).

Bei dem Einsatz wird zunächst die reale Evapotranspiration nach RENGER & WESSOLEK (1996) für unterschiedliche Bodenbedeckungen berechnet, wobei Einflussparameter wie Relief, Grundwassereinfluss und Versiegelung berücksichtigt werden. In einem zweiten Schritt wird die mittlere jährliche Gesamtabflusshöhe aus der Differenz zwischen Jahresniederschlag und realer Verdunstung ermittelt. Die Grundwasserneubildungshöhe wird indirekt durch die Auftrennung des Gesamtabflusses in Direktabfluss und Basisabfluss bestimmt. Als Teil des langjährigen Wasserhaushaltes entspricht der Basisabfluss dabei der Menge des neugebildeten Grundwassers. Die Gesamtabflusseparierung wird im Modell GROWA auf der Grundlage statischer gebietspezifischer Basisabflussanteile durchgeführt. Die relevanten Gebietskenngößen werden unter Einbeziehung beobachteter Pegelmessungen auf Basis einer Zusammenhangsanalyse errechnet.

Die Eingangsdaten lassen die Darstellung von Grundwasserneubildungsraten im Maßstab 1:50 000 zu. Die Unterteilung in Lockergestein, Festgestein und Sonderflächen (versiegelt oder drainiert) ermöglicht eine detaillierte Beschreibung der Untergrundsituation im regionalen Maßstab. Gebiete für die in der Bodenkundlichen Karte (1:50.000) bis zu einer Tiefe von 2 m kein Festgestein beschrieben wurde, werden im Modell wie Lockergesteinsgebiete behandelt. Forstflächen werden immer als Nadelwald angesehen.

### Quellen (Stand: 31.07.12)

- BAGROV, N. A. (1953): Über den vieljährigen Durchschnittswert der Verdunstung von der Oberfläche des Festlandes. – Met. i. Gidrol., 10: 20-25
- BIERSTEDT, W. (1991): Vergleich von Berechnungsverfahren zur Grundwasserneubildung.- Wasserwirtschaft - Wassertechnik, 3: 102-114.
- BOGENA, H., KUNKEL, R., SCHÖBEL, T., SCHREY, H.-P. & WENDLAND, F. (2003): Die Grundwasserneubildung in Nordrhein-Westfalen. – Schr. d. FZJ, Reihe Umwelt/Environment ,37: 148 S.
- BORK, H. (1988): Bodenerosion und Umwelt, 153 S., Abteilung für physische Geographie und Landschaftsökologie und Hydrologie, TU Braunschweig Braunschweig.
- DOMMERMUTH H. UND W. TRAMPF (1991): Die Verdunstung in der Bundesrepublik 1951 bis 1980, Teile 1 - 3. Deutscher Wetterdienst, Eigenverlag, Offenbach
- DÖRHÖFER, G. & JOSOPAIT, V. (1980): Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. – Geol. Jb., C 27: 349-353
- DÖRHÖFER, G., KUNKEL, R., TETZLAFF, B. & WENDLAND, F. (2001): Der natürliche Grundwasserhaushalt in Niedersachsen. – Arb.-H. Wasser 2001/1: 109–167
- DYCK, S. & CHARDABELLAS, P. (1963): Wege zur Ermittlung der nutzbaren Grundwasserreserven.- Berichte der geologischen Gesellschaft der DDR, 8: 245-262.
- GLUGLA, G. & THIEMER, K. (1971): Ein verbessertes Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung.- Wassertechnik, 21(10): 349-351.
- GLUGLA, G., ENDERLEIN, R. & EYRICH, A. (1976): Das Programm RASTER – ein effektives Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung im Lockergestein. – Wasserwirtsch. Wassertechn., 26: 377-382
- GLUGLA, G. & FURTIG, G. (1997): Dokumentation zur Anwendung des Rechenprogramms ABIMO. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Außenstelle Berlin, 19 S.
- GROSSMANN, J. (1997): Vergleich von Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung für große Einzugsgebiete. – Das Gas- und Wasserfach - Ausgabe Wasser/ Abwasser ,138 (6): 296–303

- GROSSMANN, J. (1998): Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag für große Einzugsgebiete. *gwf-Wasser/Abwasser* 139, Nr. 1, S. 14-23
- HAAS, D. (1987): Ermittlung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildungsrate - Erläutert an einem Beispiel aus dem ostwestfälischen Bergland. – *Lippische Mitt. Gesch. u. Landeskd.*, 56: 199–213
- HERGESELL, M. & BERTHOLD, G. (2005): Entwicklung eines Regressionsmodells zur Ermittlung flächendifferenzierter Abflusskomponenten in Hessen durch die Regionalisierung des Baseflow Index (BFI). *Jahresbericht 2004 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie*, 47-66
- JOSOPAIT, V. & LILLICH, W. (1975): Die Ermittlung der Grundwasserneubildung sowie ihre Kartendarstellung im Maßstab 1:200000 unter Verwendung von geologischen und bodenkundlichen Karten.- *DGM*, 19: 132-136.
- KLAASSEN, S. & SCHEELE, B. (1996): Modellierung der potentiellen Grundwasserneubildung mit einem GIS.- *Wasser und Boden*, 48(10): 25-28.
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (1998): Der Landschaftswasserhaushalt im Flusseinzugsgebiet der Elbe - Verfahren, Datengrundlagen und Bilanzgrößen. – *Schr. d. FZJ, Reihe Umwelt/Environment*, 12: 107 S.,
- MEYER, T. U & TESMER, M. (2000) : Ermittlung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildungsrate in Südost-Holstein nach verschiedenen Verfahren unter Verwendung eines Geoinformationssystems.- *Diss. FU Berlin, Fachber. Geowiss.*, 201 S.
- MEßER, J. (1997): Auswirkungen der Urbanisierung auf die Grundwasser-Neubildung im Ruhrgebiet unter besonderer Berücksichtigung der Castroper Hochfläche und des Stadtgebietes Herne. – *DMT-Berichte Forschung und Entwicklung*, Heft 58
- RENGER, M. & STREBEL, O. (1980): Jährliche Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von Bodennutzung und Bodeneigenschaften. – *Wasser und Boden*, 32(8): 362-366
- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1990): Auswirkungen von Grundwasserabsenkung und Nutzungsänderungen auf die Grundwasserneubildung. – *Mit. Inst. für Wasserwesen, Univ. der Bundeswehr München*, 386: 295-307.
- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1996): Berechnung der Verdunstungsjahresnummern einzelner Jahre. – *DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtsch.*, 238: 47 S.
- SCHROEDER, M. & WYRWICH, D. (1990): Eine in Nordrhein-Westfalen angewendete Methode der flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. – *DGM*, 34: 12-16
- WESSOLEK G. (1992): Einfluß der Versiegelung auf die Grundwasserneubildung. - In der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) (Ed.): *Grundwasserüberwachungsprogramm: Grundwasserneubildung aus Niederschlägen. - Workshop der Abteilung "Wasser" der Landesanstalt für Umweltschutz Baden- Württemberg (LfU)153-164, Karlsruhe.*
- WESSOLEK, G., DUIJNISVELD, W., TRINKS, S. (2004): Ein neues Verfahren zur Berechnung der Sickerwasserrate aus dem Boden: das TUB-BGR-Verfahren.- In: BRONSTERT, A., THIEKEN, A., MERZ, B. [HRSG.]: *Forum Hydr Wass*, 135-145.
- [http:// www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)
- <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas>

## Heißer Tag

Der Begriff „Heißer Tag“ oder „Hitzetag“ wurde früher als Tropentag bezeichnet. Darunter versteht man Tage, an denen die Tageshöchsttemperaturen in zwei Meter Höhe 30°C erreichen oder übersteigen ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)). Nach ([www.wissen.de](http://www.wissen.de)) spricht man ebenfalls von einem „Heißen Tag“, wenn die mittlere über einen Tag gemessenen Temperatur mindestens 25°C erreicht.

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.wissen.de>

<http://www.dwd.de>

## Heizgradtag

Die sogenannten Heizgradtage sind ein Maß für den Wärmebedarf eines Gebäudes während der Heizperiode. Sie stellen den Zusammenhang zwischen Raumtemperatur und der Außenlufttemperatur für die Heiztage dar und sind somit ein Hilfsmittel zur Bestimmung des Heizstoffbedarfs ([www.baunetzwissen.de](http://www.baunetzwissen.de)).

Heizgradtage ergeben sich aus der täglichen Differenz zwischen der mittleren Raumtemperatur von 20°C und der mittleren Außentemperatur über alle [Heiztage](#) der Heizperiode

(VDI-Richtlinie 2067). Sie werden in der Einheit [K\*d/a] angegeben, haben also die Dimension wie eine Temperatur.

Tab.23: Heizgradtage in Deutschland ([www.tga-fachplaner.de](http://www.tga-fachplaner.de))

Heizgradtage [K*d/a]	2003	2011
Berlin-Tempelhof	2368	2011
Fichtelberg	4038	3716
Hamburg-Fuhlsbüttel	2380	2077
München-Flughafen	2697	2324

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

VDI-Richtlinie 2067 (Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen)

<http://www.baunetzwissen.de/>

<http://www.tga-fachplaner.de/>

## Heizperiode

Die Heizperiode ist als die Zeit vom ersten bis zum letzten Heiztag der Wintersaison definiert. Eine Abfolge von fünf **Heiztagen** nennt man ebenfalls Heizperiode.

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.energie-lexikon.info/heizgrenze.html>

## Heiztag

Als Heiztag bezeichnet man einen Tag, an dem die gemessene mittlere Außentemperatur unterhalb der Heizgrenze liegt, d.h. die Heizungsanlage muss dann betrieben werden ([www.energie-lexikon.info](http://www.energie-lexikon.info)). Die Heiztage bilden die Grundlage zur Berechnung der **Heizgradtage**.

Die Angabe der Heiztage erfolgt indiziert, da bei der Beschreibung sowohl die Heizgrenze wie auch die Innentemperatur von Gebäuden eingehen. Nach der deutschen **VDI-Richtlinie 2067** und der **DIN 4108 T6 (DIN 2000)** wird die Heizgrenze bei 15°C und die Innentemperatur bei 20°C angenommen (HT<sub>20/15</sub>). Davon abweichend wird in Österreich, der Schweiz und in Lichtenstein der HT<sub>20/12</sub> verwendet ([www.energiesparhaus.at](http://www.energiesparhaus.at), [www.hev-schweiz.ch](http://www.hev-schweiz.ch)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

VDI-Richtlinie 2067 (Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen)

DIN (2000): DIN 4108 T6 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäude (Stand 11/2000)

<http://www.energie-lexikon.info>

<http://www.energiesparhaus.at>

<http://www.hev-schweiz.ch>

## Hitze-Index

Der Hitze-Index oder auch Temperatur-Feuchte-Index (T-F-Index) beschreibt den gemeinsamen Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf das körperliche Wohlbefinden.

Die Index-Berechnung geht auf die Arbeiten von [STEADMAN \(1979\)](#) zurück. Je höher die Luftfeuchtigkeit ist, umso langsamer verdunstet Wasser auf der Hautoberfläche. Dies führt zu einer verlangsamten natürlichen Kühlung des Körpers, was zu einer Überhitzung mit Hitze-Stress- oder erhöhtem Hitzschlag-Risiko führen kann. Als Folge daraus wird schwüle Hitze, also die stark mit Wasserdampf gesättigte Umgebungsluft bei hohen Lufttemperaturen, als wesentlich unangenehmer empfunden als trockene Hitze. Zu den schwülsten Orten Deutschlands gehören die Städte, die in der Rheinebene liegen. Diese weist durch den Rhein und die Topographie immer eine sehr hohe Luftfeuchtigkeit auf. Zusätzlich treten dort im Sommer hohe Temperaturen auf, die oft zu [Tropennächten](#) führen ([de.wikipedia.org](#)).

Tab.24: Humidex-Tabelle in Celsius nach ([www.eurometeo.com](#))

	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	48	51	53	55	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	59	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31°	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26°	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

Tab.25: Stufen des Humidex und zugehörige Gefahren

Farbcode	Hitze-Index	Gefahren
	Stufe 1	Keine Beschwerden
	Stufe 2	Leichtes Unbehagen
	Stufe 3	Starkes Unbehagen. Vorsicht: Schwere körperliche Anstrengungen vermeiden. Bei längeren Zeiträumen und körperlicher Aktivität kann es zu Erschöpfungserscheinungen kommen.
	Stufe 4	Starkes Unwohlsein. Erhöhte Vorsicht: Anstrengungen vermeiden. Es besteht die Möglichkeit von Hitzeschäden wie Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps.
	Stufe 5	Erhöhte Gefahr. Alle physischen Aktivitäten stoppen. Sonnenstich, Hitzekrampf, Hitzekollaps oder Hitzschlag sind möglich.
	Stufe 6	Sehr ernste Gefahr. Hitzschlag und Sonnenstich sind wahrscheinlich.

### Quellen (Stand 28.10.13)

Steadman, R. G. (1979): The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. - Journal of Applied Meteorology, Vol. 18 No7, pp861-873.

<http://de.wikipedia.org>

<http://www.eurometeo.com>

## Hitzetag

Siehe „Heißer Tag“

## Hitzewelle (Hitzeperiode)

Hitze wird im Allgemeinen als Ausdruck für ungewöhnlich hohe Temperaturen verwendet. Eine ungewöhnlich lange Phase von direkt aufeinanderfolgenden heißen Tagen bezeichnet man als Hitzewelle. Hierfür existiert jedoch keine allgemein gültige Definition, vielmehr unterscheiden sich Schwellenwerte und andere Rahmenbedingungen (Dauer, Luftfeuchtigkeit, Häufigkeit etc.) von Land zu Land, da regionale klimatische Unterschiede auch eine unterschiedliche Akklimatisierung mit sich bringen.

TINZ et al. (2008) sprechen von einer Hitzewelle in Deutschland, wenn an mindestens fünf aufeinanderfolgenden Tagen Temperaturen über 30°C erreicht werden. Der Deutsche Wetterdienst gibt Hitzewarnungen bei gefühlten Temperaturen von 32°C (starke Wärmebelastung) und 38°C (extreme Wärmebelastung) heraus ([www.wettergefahren.de](http://www.wettergefahren.de)). Hierbei sind auch die Luftfeuchte und die Windgeschwindigkeit berücksichtigt.

Tab.26: Hitzewellen-Definitionen

Definition	aufeinanderfolgende Tage	Temperaturschwellenwert	Zusätze
<b>Regional, Europa</b>			
Belgien	3	$T_{\min.} > 18^{\circ}\text{C}$ $T_{\max.} > 30^{\circ}\text{C}$	Durchschnittliche Mindesttemperatur über 3 Tage $> 18^{\circ}\text{C}$ , durchschnittliche Höchsttemperatur $> 30^{\circ}\text{C}$ ; gemessen an Station Ukkel (Uccule). (CUYPERS 2008)
Dänemark	3	$> 28^{\circ}\text{C}$	durchschnittliche Maximaltemperatur in mehr als 50% des Landes
Deutschland	5	$30^{\circ}\text{C}$	(nach TINZ et al. 2008)
Frankreich	3	regional unterschiedlich	$30^{\circ}\text{C}$ (CUYPERS 2008); $27^{\circ}\text{C}$ (Risiko), $32^{\circ}\text{C}$ (hohes Risiko), $41^{\circ}\text{C}$ (Gefahr) (LOWE ET AL. 2011)
Niederlande	5	alle $> 25^{\circ}\text{C}$ , mind. 3 Tage $> 30^{\circ}\text{C}$	Gemessen an der Station De Bilt (HUYNEN et al. 2001)
Österreich, Steiermark	3	$27^{\circ}\text{C}$	Mit Umrechnungsfaktor je nach Monat und Region spezifischen Dampfdruck bzw. einer Luftfeuchtigkeit von 60% (FEENSTRA 2011)
Tschechische Republik	3	$30^{\circ}\text{C}$	KYSELY (2004)
Ungarn	3	$26,6^{\circ}\text{C}$	Durchschnittliche Mindesttemperatur über 3 Tage $> 26,6^{\circ}\text{C}$ (LOWE et al. 2011)
<b>Regional, andere</b>			
Kanada	3	$32^{\circ}\text{C}$	( <a href="http://www.shop.canadiangeographic.com">www.shop.canadiangeographic.com</a> )
USA	3	$32^{\circ}\text{C}$	(ROBERT KOCH-INSTITUT 2004)
Australien, Adelaide	5 bzw. 3	$35^{\circ}\text{C}$ bzw. $40^{\circ}\text{C}$	( <a href="http://www.bom.gov.au">www.bom.gov.au</a> )
<b>Allgemein</b>			
WMO	$> 5$	regional unterschiedlich	Wenn die Durchschnittstemperatur des Zeitraums 1961-1990 um $5^{\circ}\text{C}$ überschritten wird (FRICH et al. 2002)

Im EuroHEAT-Projekt, welches vom „WHO Regional Office for Europe“ koordiniert wurde, wird die Hitzewelle über statistische Werte definiert, wobei für mindestens zwei Tage die Höchst- und Mindesttemperaturen das 90. *Perzentil* der monatlichen Verteilung überschreiten muss ([www.euro.who.int](http://www.euro.who.int)). Andere Definitionen benutzen als Schwellenwert das 95. *Perzentil* der Tagesmitteltemperaturen in einem definierten Kontrollzeitraum (z.B. 1961 bis 1990) ([ANDERSON & BELL 2011](#)) (vgl. [Hitzewelle](#), [Index](#)).

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

- Anderson, G.B. & Bell, M.L. (2011): Heat Waves in the United States: Mortality Risk during Heat Waves and Effect Modification by Heat Wave Characteristics in 43 U.S. Communities. - *Environ Health Perspect* 119:210-218.  
<http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1002313>
- Cuypers, D. (2008): Aktionsplan Hitzewellen und Ozonspitzen. - *Föderaler Dienst Volksgesundheit, Sicherheit der Nahrungsmittelkette und Umwelt*, 14 S.  
([http://www.dglive.be/PortalData/2/Resources/downloads/gesundheit/plan\\_HOP\\_DE.pdf](http://www.dglive.be/PortalData/2/Resources/downloads/gesundheit/plan_HOP_DE.pdf))
- Frich, A.; L.V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A.M.G. Klein Tank & T. Peterson (2002): Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. - *Climate Research* 19: 193–212.  
doi:10.3354/cr019193.
- Feenstra, O. (2011) [Hrsg.]: Hitzeschutzplan Steiermark, 24 S.
- Huynen, M.M.T.E., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M.P. & Kunst, A.E. (2001): The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population. - *Environmental Health Perspectives* • Vol. 109, 5, 463-470
- Kysely, J. (2004): Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *Int J Biometeorol* (49): 91-97.
- Lowe, D., Kristie, L.E. & Forsberg, B. (2011): Heatwave Early Warning Systems and Adaptation Advice to Reduce Human Health Consequences of Heatwaves. - *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2011, 8, 4623-4648; doi:10.3390/ijerph8124623
- Robert Koch-Institut (Hrsg.), 11. Juni 2004/Nr.24, S. 189
- Tinz, B., E. Freydanck und P. Hupfer (2008): Hitzeepisoden in Deutschland im 20. und 21. Jahrhundert, in: J. Lozán u.a.: *Warnsignal Klima. Gesundheitsrisiken. Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*, Hamburg, S. 141-148  
[http://www.bom.gov.au/announcements/media\\_releases/sa/20100115\\_First\\_Heatwave\\_SA\\_Jan.shtml](http://www.bom.gov.au/announcements/media_releases/sa/20100115_First_Heatwave_SA_Jan.shtml)  
[http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/95913/E92473.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/95913/E92473.pdf)  
<http://www.shop.canadiangeographic.com>  
<http://www.wettergefahren.de>

## Hitzewelle, Index

Indices zur Beschreibung von Hitzewellen gehen auf die Definitionen der extremen Lufttemperaturen in Kombination mit anderen Klimaparametern zurück. Wenn die Auswirkungen von Hitzewellen auf die Umwelt oder den Menschen zu betrachten sind, werden die Lufttemperatur und die Feuchtigkeit kombiniert (vgl. [Hitze](#), [Index](#)). Neben den Schwellenwerten für die Temperatur wird ebenfalls die Dauer eines Ereignisses berücksichtigt.

Gemäß dem „Heat Wave Duration Index“ (HWDI) ([FRICH 2002](#)) spricht man von einer Hitzewelle, wenn an mindestens sechs aufeinander folgenden Tagen die Tageshöchsttemperatur um mindestens 5°C höher liegt als die mittlere Temperatur eines 5-Tage-Fensters des Referenzzeitraumes.

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

- Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. M. G. & Peterson, T. (2002): Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. - *Climate Research*, Vol. 19. pp. 193-212.

## Hochwasser

Hochwasser beschreibt den Zustand eines oberirdischen Gewässers, bei dem der Wasserstand oder der Durchfluss einen festgelegten Schwellenwert erreicht oder überschritten hat

(DIN 1994). Nach der gesetzlichen Definition ist Hochwasser die zeitlich begrenzte Überschwemmung von normalerweise nicht mit Wasser bedecktem Land durch oberirdische Gewässer oder in Küstengebieten durch Meerwasser (§ 72 WHG, WHG 2010).

Zur Kennzeichnung der Hochwasserereignisse werden häufig die **gewässerkundlichen Hauptwerte** höchster Wasserstand bzw. Abfluss (HW bzw. HQ), höchster bekannter Wasserstand bzw. Abfluss (HHW bzw. HHQ) und mittlerer Hochwasserstand bzw. -abfluss (MHW bzw. MHQ) verwendet.

Hochwasserereignisse können durch Stark- bzw. Dauerregen, Schneeschmelze, Eisgang, und/oder technisches Versagen von wasserbaulichen Einrichtungen ausgelöst werden. Ob es im konkreten Fall zu einem Hochwasser kommt, hängt jedoch maßgeblich von der Wassersättigung des Bodens, der aktuellen Wasserführung des Flusses sowie der Dynamik des Niederschlags bzw. der Temperatur bei Schneeschmelze und Eisgang ab ([undine.bafg.de](http://undine.bafg.de)).

**Quellen** (Stand 28.10.13)

DIN (1994): DIN 4049-3, Hydrologie - Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie, 80 S

WHG (2010): Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), geändert durch Artikel 4 Absatz 76, 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154).

<http://undine.bafg.de>

## Human Well-being Index

Der Human Well-being Index (HWI) ist ein realistisches Maß zur Beschreibung sozioökonomischer Bedingungen ([cmsdata.iucn.org](http://cmsdata.iucn.org), [sustainabilitynow.com](http://sustainabilitynow.com)). Er setzt sich aus den Kategorien „Gesundheit und Bevölkerung“, „Wohlstand“, „Wissen und Kultur“, „Gemeinschaft und Zusammenleben“ (einschließlich Bürgerrechte, Pressefreiheit und Korruption) sowie „Gerechtigkeit“ (einschließlich der Unterschiede zwischen dem reichsten und ärmsten Fünftel der Bevölkerung sowie der Gleichberechtigung der Geschlechter) zusammen.

**Quellen** (Stand 28.10.13)

<http://cmsdata.iucn.org>

<http://sustainabilitynow.com>

## Hydrologische Hauptwerte

Hydrologische Hauptwerte oder hydrologische Hauptzahlen siehe „Gewässerkundliche Hauptwerte“.

## Hydrologisches Jahr

Das hydrologische Jahr (auch Abflussjahr oder Wasserwirtschaftsjahr) weicht vom Kalenderjahr ab. Nach der DIN 4049-1 (DIN 1992) beginnt es am 1. November und endet am 31. Oktober des Folgejahres. Diese Einteilung wurde gewählt, weil Ende Oktober i. d. R. die Wasserreserven in Deutschland am geringsten sind. Durch die Verschiebung zum Kalenderjahr werden dadurch auch die Niederschläge erfasst, die als Schnee und Eis im Einzugsgebiet gespeichert werden und erst im Frühjahr als Schmelzwasser abflusswirksam sind. Bezeichnet wird das hydrologische Jahr durch das Kalenderjahr, in dem die Abflussjahres-

monate Januar bis Oktober vorkommen. So beginnt das hydrologische Jahr 2014 am 1. November 2013. Das hydrologische Jahr wird in ein hydrologisches Winter- (November bis April) und Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) unterteilt.

Abweichend dazu dauert das hydrologische Jahr in der Schweiz vom 1. Oktober bis zum 30. September 2013 (Winterhalbjahr: Oktober bis März; Sommerhalbjahr: April bis September) ([www.stadt-zuerich.ch](http://www.stadt-zuerich.ch)). Diese Definition berücksichtigt das frühere Einsetzen der Wasserbindung durch Schnee und Eis in den Hochalpen.

**Quellen** (Stand 28.10.13)

DIN (1992): Hydrologie; Grundbegriffe. – DIN 4049, Teil 1: 1992-12; Berlin (Beuth). [Hrsg.: Deutsches Institut für Normung].  
<http://www.stadt-zuerich.ch>

## Jährlichkeit

Der Begriff der Jährlichkeit (oder Annuität) wird benutzt, um die **Wiederkehrwahrscheinlichkeit** von z.B. Hochwasserereignissen anzugeben. Die Ermittlung der Jährlichkeit erfolgt auf Basis statistischer Auswertungen von Beobachtungsreihen und historischen Ereignissen. Somit hängt die Aussage stark von der vorhandenen Länge der Beobachtungsdaten ab. Darüber hinaus müssten bei der statistischen Auswertung ebenfalls sich verändernde Umweltbedingungen und wasserbauliche Maßnahmen berücksichtigt werden, da beide Einflüsse zu Systemveränderungen führen, die ebenfalls die Wiederkehrwahrscheinlichkeiten beeinflussen.

Ein 100-jähriges Hochwasser tritt beispielsweise mit einem ortsspezifischen Abflusswert statistisch gesehen nur einmal in hundert Jahren auf ([www.hnd.bayern.de](http://www.hnd.bayern.de)). Die Jährlichkeit bezeichnet somit ein statistisches Wiederkehrintervall.

Ein 100-jähriges Hochwasser wird statistisch gesehen in 1.000 Jahren etwa 10-mal auftreten. Da es sich hierbei um eine statistisch ermittelte Größe handelt, sagt diese jedoch nichts über das Jahr des Eintritts des Ereignisses aus (**ÖNORM 2003**). So trat beispielsweise in Köln sowohl 1993 als auch 1995 ein Jahrhunderthochwasser auf.

**Quellen** (Stand 28.10.13)

ÖNORM (2003): ÖNORM B 2400; Hydrologie - Hydrographische Fachausdrücke und Zeichen - Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN ISO 772, Fassung 1.1.2003.  
<http://www.hnd.bayern.de>

## Kälteperiode

Eine Kälteperiode setzt sich aus mehreren Frostperioden zusammen. Zwischen den Frostperioden dürfen per Definition etwa zwei bis drei Tage mit Temperaturen über Null Grad liegen ([www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)). Geht man dagegen von der Definition des „Cold Spell duration index“ (CSDI), dem Index für die Dauer einer Kälteperiode aus, so beträgt die Mindestlänge sechs aufeinanderfolgende Tage ([icdc.zmaw.de](http://icdc.zmaw.de)).

Die Dieselmotoren-Industrie spricht dagegen von einer Kälteperiode, wenn die Temperaturen unter  $-7^{\circ}\text{C}$  (Cloudpunkt) liegen, da dann in oberirdischen Tanks Paraffine auskristallisieren und Filter verstopfen können ([www.etteldorf-metterich.de](http://www.etteldorf-metterich.de)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.etteldorf-metterich.de/pdf/shell-diesel-kaeltefestigkeit.pdf>

<http://icdc.zmaw.de>

<http://www.wikipedia.de>

## Kälteperiode, Index

Der Index für die Dauer einer Kälteperiode (cold spell duration index, CSDI) ist definiert als jährliche Anzahl der Tage mit wenigstens sechs aufeinanderfolgenden Tagen, an denen die Mindesttemperatur kleiner als das 10. Perzentil ist ([icdc.zmaw.de](http://icdc.zmaw.de)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://icdc.zmaw.de>

## Klima

In älterer Literatur definiert der Begriff Klima „die Gesamtheit aller meteorologischen Erscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre an irgendeiner Stelle der Erdoberfläche charakterisieren“ ([HANN 1883](#)). Eine ähnliche Definition benutzt [KÖPPEN \(1923\)](#), der Klima mit dem „mittleren Zustand und dem gewöhnlichen Ablauf der Witterung an einem gegebenen Ort“ beschreibt. Eine weitere Verfeinerung der Definition wird von [CONRAD \(1936\)](#) vorgenommen: „Unter Klima verstehen wir den mittleren Zustand der Atmosphäre über einem bestimmten Erdort, bezogen auf eine bestimmte Zeitepoche, mit Rücksicht auf die mittleren und extremen Veränderungen, denen die zeitlich und örtlich definierten Zustände unterworfen sind“. Die wissenschaftliche Definition in Anlehnung an [HUPFER & CHMIELEWSKI \(1990\)](#) umfasst verschiedene Definitionen des Begriffs „Klima“, die je nach betrachtetem Prozess und Maßstab (von global bis lokal) unterschiedlich formuliert sind.

Der IPCC ([IPCC 2007](#)) definiert Klima in einem engeren und einem weiter gefassten Zusammenhang: Im engeren, traditionellen Sinne, ist das Klima die statistische Beschreibung des Wetters, genauer der bei der Wetterbeobachtung erfassten Messgrößen, über einen genügend langen Zeitraum (von Monaten bis Millionen von Jahren). Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) definiert jeweils 30-jährige Zeiträume als [Klimanormalperioden](#). Der Betrachtungszeitraum kann aber davon abweichen.

Im weiteren Sinn ist Klima der Zustand des Klimasystems, seiner Statistik und Variabilität. Diese Definition folgt der von [HANTEL et al. \(1987\)](#), die das Klima als das statistische Verhalten der Atmosphäre beschreiben, das für eine relativ große zeitliche Größenordnung charakteristisch ist.

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

Conrad, V. (1936): Die klimatologischen Elemente und ihre Abhängigkeit von terrestrischen Einflüssen. In: Köppen, W. [Hrsg.], *Handbuch der Klimatologie*, Bd. 1, Teil B. Berlin: Verlag von Gebrüder Borntraeger

Hann, J. (1883): *Handbuch der Klimatologie*. Engelhorn, Stuttgart

Hantel, M., Kraus, H., Schönwiese, C.-D. (1987): Climate definition. In: Fischer, G. [Hrsg.], *Landolt-Börnstein Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology*, Subvolume c1, Climatology. Springer Verlag, Berlin: 1–28

Hupfer, P. & Chmielewski, F.M. (Hrsg.) (1990): *Das Klima von Berlin*. 288 S.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007b): *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge.

Köppen, W. (1923): *Die Klimate der Erde*, Walter de Gruyter, Berlin

[http://www.geo.uni-frankfurt.de/iau/klima/PDF\\_Dateien/Sw\\_Extrem\\_DGG\\_2007.pdf](http://www.geo.uni-frankfurt.de/iau/klima/PDF_Dateien/Sw_Extrem_DGG_2007.pdf)

## Klimaelemente

Zur Beschreibung des **Klimas** werden die mess- und beobachtbaren Elemente des Wetters herangezogen. Man unterscheidet hierbei zwischen physikalischen und chemischen Klimaelementen (z.B. [SCHALLER & WEIGEL 2007](#)). Die wichtigsten physikalischen Klimaelemente sind Temperatur, Luftdruck, Wind, Niederschlag, Bewölkung, Sicht, Sonnenscheindauer und Strahlung ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)). Die chemischen Klimaelemente charakterisieren die stoffliche Zusammensetzung der Luft und der Niederschläge. Die Atmosphärenchemie wird dabei durch folgende Parameter und Parametergruppen erfasst: Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), bodennahes Ozon (O<sub>3</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und flüchtige organische Substanzen („volatile organic compounds“, VOC) ([DÄMMGEN & WEIGEL 1998](#)).

### Quellen (Stand: 31.07.12)

DÄMMGEN, U. & WEIGEL, H. J. (1998): Trends in atmospheric composition (nutrients and pollutants) and their interaction with agroecosystems. - In: EL BASSAM, N., BEHL, R. K. & PROCHNOW, B. [Hrsg.]: Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry: Strategies Towards Achievement, Proc. Int. Conf. in Braunschweig, 85-93.

Schaller, M. & Hans-Joachim Weigel, H.-J. (2007): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. - Landbauforschung Völkenrode - FAL Agricultural Research – Sonderheft 316, 247 S.

<http://www.dwd.de>

## Klimafaktoren

Klimafaktoren, auch klimatologische Wirkungsfaktoren genannt, sind Faktoren, die die **Klimaelemente** und somit das **Klima** eines Ortes beeinflussen. Die wesentlichen natürlichen Klimafaktoren sind geographische Breite, topographische Höhe und **Exposition**, Entfernung vom Meer und anderen größeren Wasserflächen, Bodenart und Bodenbedeckung. Hinzu kommen anthropogene Faktoren wie Bebauung und Abwärme ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)).

### Quellen (Stand: 31.07.12)

<http://www.dwd.de>

## Klimanormalperiode

Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) legt 30-jährige Bezugszeiträume der Klimabeobachtung als Normalperioden fest. Die aktuelle Normalperiode läuft seit 1991 und dauert bis 2020. Als Referenzzeitspanne wird die Periode von 1961 – 1990 verwendet ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)). Für den Zeitraum einer Normalperiode werden die statistischen Kenngrößen der Klimadaten berechnet, die dann als Referenz für die Auswertung und Betrachtung des Klimas auf internationaler Ebene herangezogen werden. Die Definition einer Klimanormalperiode dient zudem der Vergleichbarkeit von klimatologischen Auswertungen ([www.top-wetter.de](http://www.top-wetter.de)). Allerdings werden in der Klimaforschung auch andere Vergleichsperioden gewählt. Aus statistischen Gründen bzw. bei besserer Datenlage wird beispielsweise 1971 – 2000 herangezogen ([LUGV 2010](#), [SCHUCHARDT et al. 2010](#)). Je nach Fragestellung können die Bezugszeiträume auch kürzer oder länger als 30 Jahre sein. Dies hängt davon ab, ob die über die Bezugsperiode ermittelten statistischen Kenngrößen stabil sind. So werden etwa zur zuverlässigen

Angabe der gemittelten Niederschlagssummen oder der Eigenschaften von Extremwerten längere Zeiträume als 30 Jahre benötigt.

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

LUGV (2010): Auswertung regionaler Klimamodelle für das Land Brandenburg - Teil 2 – Gegenüberstellung klimatologischer Parameter mittels WettReg und WettReg2010 und deren Einordnung in das Ensemble der Regionalmodelle. - Fachbeiträge des Landesamts für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Land Brandenburg (LUGV), Heft Nr. 115, 283 Seiten

Schuchardt, B., Wittig, S. & Spiekermann, J. (2010): Klimaszenarien für ‚nordwest2050‘ - Teil 2: Randbedingungen und Beschreibung. - 3. WERKSTATTBERICHT, Juni 2010, 76 S

<http://www.dwd.de>

<http://www.top-wetter.de>

## Klimaschutz

siehe „Mitigation“.

## Living Planet Index

Der Living Planet Index (LPI) ist ein Indikator, mit dem der Zustand der biologischen Vielfalt beschrieben werden kann. Die Idee des LPI stammt vom World Wildlife Fund (WWF) und dem UNEP World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC), um die Biodiversität als messbare Größe in das United Nations Environment Programme (UNEP) implementieren zu können. Der LPI ist nicht nur ein globaler Index, er kann auch für ausgewählte Regionen, Nationen oder Ökosysteme berechnet werden ([www.bipindicators.net](http://www.bipindicators.net)).

Der Living Planet Index basiert auf den Zeitreihen-Daten von mehr als 9.000 Populationen, die mehr als 2.600 Arten von Säugetieren, Vögeln, Reptilien und Fischen aus verschiedenen Ökosystemen und Regionen der ganzen Welt beinhalten. Die Veränderungen der einzelnen Arten werden zusammengefasst und als Index, bezogen auf das Referenzjahr 1970, aufgeführt ([www.bipindicators.net](http://www.bipindicators.net)).

Der globale LPI wird aus dem geometrischen Mittel der Living Planet Indices für die Tropen und für die gemäßigten Zonen berechnet. Der tropische LPI betrachtet alle terrestrischen, marinen und Süßwasser-Populationen aus der tropischen Zone, der gemäßigte LPI alle terrestrischen, marinen und Süßwasser-Populationen nördlich und südlich der Tropen. Die aktuell berechneten werden alle zwei Jahre im Living Planet Report veröffentlicht ([WWF 2012](http://www.bipindicators.net)).

**Quellen** (Stand 28.10.13)

WWF (2012): Living Planet Report 2012. Biodiversity, biocapacity and better choices. - WWF-Report, 160 p.

<http://www.bipindicators.net>

## Low-regret-Maßnahmen

Low-regret-Maßnahmen oder auch Limited-regret-Maßnahmen sind relativ kostengünstige Strategien, die große Vorteile bringen, wenn die zukünftig projizierten Klimaverhältnisse eintreten ([UKCIP 2005](http://www.bipindicators.net), [www.climatexchange.org.uk](http://www.climatexchange.org.uk)). Typischerweise handelt es sich hierbei meistens um bauliche Projekte, die im Zuge eines Neubaus oder während Sanierungsarbeiten realisiert werden können ([www.worldbank.org](http://www.bipindicators.net)). Die Umsetzung von Low-regret-Maßnahmen

kann jedoch auch dann scheitern, wenn die Maßnahmen Schutzgüter wie Umwelt, Biodiversität oder Grundwasser negativ beeinflussen würden. Ein weiteres Ausschlusskriterium ist die Minderung der Lebensqualität, die bei der Akzeptanz der Maßnahmen eine nicht unerhebliche Rolle spielt.

Beispiele für Low-regret-Maßnahmen zur **Anpassung** an den Klimawandel sind:

- Bau eines neuen Damms zum Hochwasserschutz, der zwar nicht bereits heute für einen sehr hohen Anstieg des Meeresspiegels ausreicht, aber so geplant ist, dass er sich im Notfall vergleichsweise kostengünstig ausbauen lässt (IFOK 2009)
- Installation von Abwasserrohren mit einem größeren Durchmesser ([www.worldbank.org](http://www.worldbank.org))
- Planung und Umsetzung zusätzlicher Bauhöhen in Gebäuden, um z.B. nachträglich den Einbau von Belüftungsanlagen oder Bewässerungssystemen zu ermöglichen, damit auf zu erwartende Temperatur- und Niederschlagsbedingungen reagiert werden kann (UKCIP 2005)
- Beschränkte Nutzung von Flächen in hochwassergefährdeten Bereichen (UKCIP 2005)
- Gemeinsamer Bau und Betrieb zusätzlicher Einrichtungen, um Wasser zu speichern (UKCIP 2005)
- Etablierung effizienter Bewässerungsmethoden und Anbautechniken

#### Quellen (Stand 28.10.13)

IFOK (2009): Anpassung an den Klimawandel: Die unterschätzte Herausforderung. - IFOK-Bericht: Pluspunkt, 13 S.

UKCIP (2005): Identifying adaptation options. - UKCIP-Report 34p. [http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wp-content/PDFs/ID\\_Adapt\\_options.pdf](http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wp-content/PDFs/ID_Adapt_options.pdf)

<http://www.climatechange.org.uk>

<http://www.worldbank.org>

## Megadürre

Eine Megadürre (megadrought) ist eine lang andauernde und durchdringende Dürre, die sich über einen Zeitraum von zehn oder mehr Jahren erstrecken kann (IPCC 2012). Von den katastrophalen Dürren sind besonders die Trockengebiete des afrikanischen Kontinents wie etwa die Sahel-Zone betroffen (Dai et al. 2004). Aber auch aus dem Mittleren Westen der USA sind zwei Megadürren in der zweiten Hälfte des 16. und im letzten Viertel des 13. Jahrhunderts nachgewiesen, die jeweils einige Jahrzehnte anhielten (WOODHOUSE & OVERPECK 1998)

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

DAI, A., LAMB, O. J., TRENBERTH, K. E., HULME, M., JONES, P. D. & XIE, P. (2004): Comment: The recent Sahel drought is real. - Int. J. Climatol., 24, 1323-1331

IPCC (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M. & Midgley, P. M. (eds.): Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

WOODHOUSE, C.A. & OVERPECK, J. T. (1998): 2000 Years of Drought Variability in the Central United States. - Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 79, No. 12, 2693-2714

## Meteorologische Jahreszeiten

Die meteorologischen Jahreszeiten sind nach Kalendermonaten eingeteilt und beinhalten jeweils drei komplette Monate. Für statistische Auswertungen hatte dies den Vorteil, dass Berechnungen einfacher durchzuführen waren. Zudem liegen bei vielen historischen Messreihen häufig nur Monatsmittelwerte oder Monatssummen vor ([www.deutscher-wetterdienst.de](http://www.deutscher-wetterdienst.de)).

In der Meteorologie beginnen die Jahreszeiten am ersten Tag desjenigen Monats, in dem auch die astronomischen Jahreszeiten anfangen. Nach dieser Definition fallen die in Deutschland durchschnittlich wärmsten Monate Juni, Juli und August in den Sommer und die kältesten Monate Dezember, Januar und Februar in den Winter. Daraus ergeben sich folgende Zeiträume: Frühling (MAM): März – Mai; Sommer (JJA): Juni – August; Herbst (SON): September – November und Winter (DJF): Dezember – Februar.

**Quellen** (Stand 28.10.13)

<http://www.deutscher-wetterdienst.de>

## Mitigation

Unter Mitigation versteht man den Versuch, das globale Klima zu „schützen“, oder einfach ausgedrückt, die vom Menschen verursachte Erwärmung einzudämmen. Dies umfasst alle Strategien und Maßnahmen, die zur Minderung oder Vermeidung von Treibhausgasemissionen beitragen (SOLOMON et al. 2007). Dies kann durch den Einsatz neuer Technologien, den Wechsel zu regenerativer Energie (v. a. Windenergie, Photovoltaik, Wasserkraft, Biomassenutzung, Geothermie), die Steigerung der Energieeffizienz, z. B. durch eine verbesserte Wärmedämmung von Gebäuden (LEVINE et al. 2007), Veränderungen von Management-Praktiken oder durch ein geändertes Konsumverhalten erfolgen. Die Maßnahmen können so einfach wie die Verbesserung eines Haushaltgeräts sein oder so komplex wie die Planung einer Stadt ([www.unep.org](http://www.unep.org)).

Die Schaffung neuer Senken durch Waldanbau oder Renaturierung von Mooren sind ebenfalls Mitigation-Maßnahmen ([www.unep.org](http://www.unep.org)). Allerdings müssen sie in einem größeren Kontext gesehen werden, da diese Maßnahmen auf lokaler und regionaler Ebene den Wasserkreislauf negativ beeinflussen können. Von der Sicherung technischer Treibhausgas-senken (wie Carbon Capture & Storage) erwarten viele Akteure ebenfalls einen erheblichen Klimaschutzbeitrag.

Der Klimaschutz kann aber auch als Schutz bzw. Sicherung des Schutzgutes „Klima“ im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) oder der strategischen Umweltprüfung (SUP) verstanden werden. Der Schutz lokaler bioklimatischer Funktionen umfasst v. a. die planerische Sicherung von Kaltluftentstehungsgebieten und Frischluftbahnen und ist insbesondere in Siedlungsräumen von Bedeutung ([www.klima-und-raum.org](http://www.klima-und-raum.org)).

**Quellen** (Stand 28.10.13)

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. & Miller, H. S. [eds.] (2007): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 18 p.

Levine, M., Urge-Vorsatz, D., Blok, K., Geng, L., Harvey, D., Land, S., Levermore, G., Mongameli Mehlwana, A., Mirasgedis, S., Novikova, A., Rilling, J. & Yoshino, H. (2007): Residential and commercial buildings, Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

<http://www.unep.org>

<http://www.klima-und-raum.org>

## Nachhaltigkeit

In der Praxis bekommt man den Eindruck, dass der Begriff der Nachhaltigkeit inflationär gebraucht wird, wobei die Bedeutung zunehmend unklarer wird. Dies liegt sowohl an der Vielzahl verwendeter Begriffsdefinitionen, als auch am unpassenden Gebrauch des Begriffs.

Das Prinzip der Nachhaltigkeit wurde vor 300 Jahren erstmals von Hans Carl von Carlowitz als „nachhaltige Nutzung“ formuliert ([VON CARLOWITZ 1713](#)) und geht auf die Forderung in der Forstwirtschaft zurück, dass immer nur so viel Holz geschlagen werden sollte, wie durch planmäßige Aufforstung wieder nachwachsen kann ([GROBER 2013](#)). Somit lässt sich die Nachhaltigkeit als ein Konzept definieren, dass die sinnvolle Nutzung eines regenerierbaren Systems beschreibt. Diese Nutzung zielt darauf ab, dass die wesentlichen Eigenschaften des Systems erhalten bleiben und sein Bestand sich auf natürliche Weise regeneriert ([www.miodul.de](http://www.miodul.de)). Der Begriff wurde in der Forstwirtschaft zuerst geprägt und im Laufe des 20. Jahrhunderts dann auf andere Bereiche übertragen, z.B. im Brundtland-Bericht ([UN 1987](#)).

Mittlerweile hat sich das „Nachhaltigkeitsdreieck“ durchgesetzt, das ökologische, ökonomische und soziale Aspekte der Nachhaltigkeit verbindet. So formuliert der Rat für nachhaltige Entwicklung, dass in einer nachhaltigen Entwicklung Umweltgesichtspunkte gleichberechtigt mit sozialen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu berücksichtigen sind ([www.nachhaltigkeit.info](http://www.nachhaltigkeit.info)). Nachhaltigkeit bildet somit drei Säulen, zwischen denen allerdings sowohl Zielkonflikte wie auch Zielharmonien bestehen. Die Herausforderung besteht somit darin, eine Ausgewogenheit zwischen den drei Dimensionen zu erreichen.

Als weiteres konstituierendes Merkmal von Nachhaltigkeit ist die zeitliche Dimension zu sehen. Wie bei der ursprünglichen Verwendung in der Forstwirtschaft des 18. Jahrhunderts geht es auch heute darum, ökologische Systeme so zu nutzen, dass auch künftige Generationen die Ressourcen noch zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse nutzen können.

### Ökologische Nachhaltigkeit

Ökologische Nachhaltigkeit bedeutet eine langfristige Erhaltung von Natur und Umwelt. Sie orientiert sich am stärksten am ursprünglichen Gedanken, keinen Raubbau an der Natur zu betreiben. Für eine nachhaltige Entwicklung muss versucht werden, erschöpfliche Ressourcen und Energieträger durch unerschöpfliche zu ersetzen. Schad- und Reststoffe, die in der Natur nicht vorkommen, sind zu vermeiden. Reststoffe sollten nur solche sein, die auch in der Natur auftreten. Bei regenerativen Ressourcen darf nur die Menge und Qualität abgebaut werden, die wieder nachwächst ([www.miodul.de](http://www.miodul.de)). Zudem darf die Menge der abgegebenen Stoffe bzw. Energie nicht größer und ihre Qualität nicht geringer sein, als die Anpassungsfähigkeit der betroffenen Ökosysteme (z. B.: Klima, Wälder, Ozeane) verkraftet ([BMU 1998](#)). Zudem soll die Schönheit der Natur und die Vielfalt der Arten erhalten bleiben ([MAJER 1998](#)).

Ziel ist es, Natur und Umwelt für nachfolgende Generationen zu erhalten ([www.agenda2001.de](http://www.agenda2001.de)), indem die Rohstoffe geschützt und die Aufnahmekapazität der Natur für Abfälle nicht überschritten wird ([VAN DIEREN 1995](#)).

### Ökonomische Nachhaltigkeit

Ökonomische Nachhaltigkeit bedeutet eine weitsichtige Wirtschaftsweise und Wohlstand für alle. Eine ökonomische Wirtschaftsweise gilt dann als nachhaltig, wenn sie dauerhaft betrieben werden kann. Dies bedeutet, dass eine Gesellschaft wirtschaftlich nicht über ihre Verhältnisse leben sollte, da dies zwangsläufig zu Einbußen bei nachfolgenden Generationen führt (<http://www.miodul.de>). Dabei sollte insbesondere das Naturkapital der Erde (also Mineralien, Pflanzen und Tiere (soweit man diese als Produktionsfaktoren bezeichnen

kann)), stärker berücksichtigt werden, da es in zunehmendem Maße knapp wird (VAN DIEREN 1995).

Aus unternehmerischer Sicht bezieht man die ökonomische Nachhaltigkeit auf die Rentabilität des Unternehmens. So müssen die Produkte im finanziellen Wettbewerb stehen, ökologische Konzepte müssen finanzierbar und der wirtschaftliche Fortbestand des Unternehmens muss gesichert sein ([www.agenda2001.de](http://www.agenda2001.de)).

## Soziale Nachhaltigkeit

Soziale Nachhaltigkeit bedeutet eine gerechte Entwicklung von Gesellschaft und Partizipation. Die soziale Nachhaltigkeit betont das Recht eines jeden Individuums auf grundlegende menschliche Bedürfnisse wie Nahrung, Kleidung und Unterkunft. Ebenso sollen die Anerkennung eines jeden Individuums und soziale Teilhabe (d. h. eine gleichberechtigte Einbeziehung von Individuen und Organisationen in gesellschaftliche Entscheidungs- und Willensbildungsprozesse) sichergestellt sein. Staat und Gesellschaft sollten so organisiert sein, dass sich soziale Spannungen in Grenzen halten. Konflikte sollten nicht eskalieren, sondern auf friedlichem und zivilem Wege austragbar sein ([www.miodul.de](http://www.miodul.de)). Die Entwicklung der Gesellschaft sollte allen Mitgliedern einer Gemeinschaft die Teilnahme ermöglichen. Dies umfasst einen Ausgleich sozialer Kräfte, mit dem Ziel, eine auf Dauer zukunftsfähige, lebenswerte Gesellschaft zu schaffen, in der alle Menschen gemäß ihrer Fähigkeiten beteiligt werden ([www.agenda2001.de](http://www.agenda2001.de)). Soziale Nachhaltigkeit stellt qualitative Verbesserungen über quantitatives Wachstum (PUNTNAM 1993).

## Andere Nachhaltigkeitsansätze

Andere gewichtete Ansätze stellen einzelne Komponenten, wie die Ökologie, in den Vordergrund. Im Bereich der Wirtschaft gibt es zusätzlich noch andere Konzepte, wie z. B. das Cradle-to-Cradle-Konzept. Dieses beschreibt eine Form von abfallfreier Wirtschaft, in der alle Stoffe dauerhaft Nährstoffe für natürliche Kreisläufe oder geschlossene technische Kreisläufe sind (z. B. kompostierbare Textilien oder essbare Verpackungen) ([www.nachhaltigkeit.info](http://www.nachhaltigkeit.info)).

### Quellen (Stand 28.10.13)

- BMU (1998) Rio-Konferenz Umwelt und Entwicklung – 5 Jahre danach - : Beitrag der Entwicklungszusammenarbeit, Bonn [Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt].
- Grober, U. (2013): Die Entdeckung der Nachhaltigkeit. Kulturgeschichte eines Begriffs. 300 S., Kunstmann-Verlag.
- Majer, H. (1998): Wirtschaftswachstum und nachhaltige Entwicklung, 3. Auflage, S.223
- Putnam, R. D. (1993): The Prosperous Community: Social Capital and Public Life. -The American Prospect, (Nr.13/1993), S. 1-8.
- UN (1987): Our common future – Report of the World Commission on Environment and Development (Brundtland-Bericht), 247 p.
- Van Dieren, W. (1995) (Hrsg.): Mit der Natur rechnen: Der neue Club-of-Rome-Bericht: vom Bruttosozialprodukt zum Ökosozialprodukt, S.121
- Von Carlowitz, H. C. (1713): Sylvicultura oeconomica. Leipzig, Reprint der Ausgabe, Hrsg. TU BAF Freiberg 2000
- <http://www.agenda2001.de>
- <http://www.miodul.de>
- <http://www.nachhaltigkeit.info>

## Niederschlag, Index

MANTON et al (2001), FRICH et al. (2002) und das STARDEX-Konsortium (EU-Projekt: Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions) (STARDEX

2005) stellten in ihren Arbeiten Sammlungen von Indices vor, die sich auf Niederschläge beziehen. Eine Auswahl ist nachfolgend zusammengefasst.

Tab.27: Niederschlag-Indices

Abkürz.	Beschreibung	Bemerkungen	Einheit
1dayT <sup>1)</sup>	Maximale tägliche Niederschlagsmenge		mm
5dayT <sup>1)</sup> , px5d <sup>2)</sup>	höchste 5-Tagessummen-Niederschlagssummen	höchste 5-Tagessummen-Niederschlagssumme; potentieller Überflutungsindikator <sup>4)</sup>	mm
90pT <sup>1)</sup>	Gesamtniederschlag von Ereignissen ≥90. Perzentil		mm
95pT <sup>1)</sup>	Gesamtniederschlag von Ereignissen ≥95. Perzentil		mm
90pNoD <sup>1)</sup> , pnl90 <sup>2)</sup>	Anzahl der Tage mit Niederschlagsmenge ≥90. Perzentil	Starkregentage	d
95pNoD <sup>1)</sup>	Anzahl der Tage mit Niederschlagsmenge ≥95. Perzentil		d
pq90 <sup>2)</sup>	90. Perzentil der Tagesniederschlagsmenge	Starkregen-Schwelle	mm/d
pint <sup>2)</sup>	Einfache tägliche Niederschlagsintensität	Mittlere Niederschlagsmenge eines Regentages	mm/d
90pInt <sup>1)</sup>	Einfacher Index der Niederschlagsintensität (90pT/90pNoD)		mm/d
95pInt <sup>1)</sup>	Einfacher Index der Niederschlagsintensität (95pT/95pNoD)		mm/d
pfl90 <sup>2)</sup>	Anteil der Gesamtregenmenge zu Ereignissen >90. Perzentil	Starkregen-Anteil	%
pxdd <sup>2)</sup>	Maximal Anzahl von aufeinander folgenden Trockentagen	Längste Trockenperiode	d
R10 <sup>3)</sup>	Anzahl der Tage mit einem Niederschlag ≥ 10 mm/d	erfasst sehr nasse Tage	d
SDII <sup>3)</sup>	Einfacher Tages Intensitäts-Index (Jahressumme/ Anzahl von Regentagen mit N≥ 1 mm/d)		mm/d

<sup>1)</sup> MANTON et al. (2001), <sup>2)</sup> STARDEX (2005), <sup>3)</sup> FRICH et al. (2002), <sup>4)</sup> Peterson et al. (2001)

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

Frich, P., L. V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A. M. G. Klein Tank und T. Peterson (2002): Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *ClimateResearch* 19: 193-212.

Manton, M. J., Della-Marta, P. M., Haylock, M. R., Hennessy, K. J., Nicholls, N., Chambers, L. E., Collins, D.A., Daw, G., Finet, A., Gunawan D., Inape, K., Isobe, H., Kestin, T. S., Lefale, P., Leyu, C. H., Lwin, T., Maitrepierre, L., Ouprasitwong, N., Page, C. M., Pahalad, J., Plummer, N., Salinger, M. J., Suppiah, R., Tran, V. L., Trewin, B., Tibig, I. & Yee, D. (2001): Trends in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the South Pacific: 1961–1998. - *International Journal of Climatology* 21: 269–84, DOI:10.1002/joc.610.

Peterson, T.C., Foland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A. & Plummer, N. (2001): Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs – 1998-2001, 143 S.

STARDEX (2005): Downscaling Climate extremes. – STARDEX-report, 21 p.

## Niedrigwasser, Binnengewässer

Als Niedrigwasser bezeichnet man den Wasserstand von Gewässern, der deutlich unter einem als „normal“ definierten Zustand liegt. Die Klassifikation des Abflusses erfolgt auf Basis statistischer Analysen ([www.nid.bayern.de](http://www.nid.bayern.de)). Für jeden Pegel werden [Gewässerkundliche Hauptwerte](#) bzw. hydrologische Hauptwerte angegeben, u. a. auch Niedrigwasserkennwerte.

Niedrigwasserbedingungen treten primär als Folge eines wetterbedingten Niederschlags- und Wassermangels auf. Extreme Niedrigwasserbedingungen beeinträchtigen die Schifffahrt. Bei Niedrigwasserbedingungen führen die Entnahme von Kühlwasser für Kraftwerke sowie die Wasserentnahme für landwirtschaftliche Bewässerung zu einer negativen Beeinträchtigung der Ökosysteme ([undine.bafg.de](http://undine.bafg.de)).

### Quellen (Stand 28.10.13)

<http://www.nid.bayern.de>

<http://undine.bafg.de>

## Niedrigwasser, Index

Untersuchungen zu Niedrigwasserbedingungen können auf ein breites Spektrum von Indikatoren zurückgreifen ([PYRCE 2004](#)). Tab.28 bis Tab.30 folgen der Klassifikation von [OLDEN & PAFF \(2003\)](#) mit den folgenden Oberbegriffen: Ausmaß, Häufigkeit und Dauer der Niedrigwasserverhältnisse. Da die meisten Indices auf statistischen Auswertungen beruhen, beziehen sich viele Angaben auf Perzentile. So basiert der Index Q90 auf dem 90. Perzentil, d. h. 90% der Abfluss-Messwerte (z.B. der jährlichen Tagesmittelwerte) befinden sich darunter und 10% befinden sich darüber.

Häufig verwendete Indices sind der Basisabflussindex und Indices der 7Q10-Familie. Beide werden nachfolgend detaillierter betrachtet.

Tab.28: Ausmaß der Niedrigwasserbedingungen

Index [Einheit]	Anmerkung	Quellen
Monatliches Abflussminimum [m <sup>3</sup> /s]	Minimaler Abflusswert im Monat	<a href="#">WOOD et al. (2000)</a>
Jährliches Abflussminimum [m <sup>3</sup> /s]	Quotient aus dem Mittelwert der niedrigsten Tageswerte eines Jahres und dem Median der durchschnittlichen Tagesabflusswerte aller Jahre	<a href="#">WOOD et al. (2000)</a>
Jährliches Abflussminimum [m <sup>3</sup> /s]	Quotient aus dem Median der niedrigsten Tageswerte eines Jahres und dem Median der durchschnittlichen Tagesabflusswerte aller Jahre	<a href="#">CLAUSEN et al. (2000)</a>
Jährliche minimale Abflussspende [m <sup>3</sup> /s*km <sup>2</sup> ]	Quotient aus dem mittleren jährlichen Abflussminimum und der Einzugsgebietsgröße	<a href="#">CLAUSEN et al. (2000)</a>
Niedrigwasser Index [-]	Quotient aus dem Mittelwert der niedrigsten Tagesabflüsse eines Jahres und dem Mittelwert des durchschnittlichen Tagesabflusswertes aller Jahre	<a href="#">POFF &amp; WARD (1989)</a>
Basisabflussindex [-]	Quotient aus der Basisabflussmenge und der Gesamtabflussmenge	<a href="#">CLAUSEN et al. (2000)</a>
Basisabflussindex [-]	Quotient aus der niedrigsten Sieben-Tage-Abflussmenge und dem Mittelwert der durchschnittlichen Tagesabflusswerte aller Jahre	<a href="#">RICHTER et al. (1998)</a>

Index [Einheit]	Anmerkung	Quellen
Basisabflussindex [-]	Mittelwert des Quotienten aus dem niedrigsten Tagesabfluss eines Jahres zum mittleren jährlichen Tagesabfluss (*100), gemittelt über alle Jahre	POFF (1996)

Tab.29: Häufigkeit der Niedrigwasserbedingungen

Index [Einheit]	Anmerkung	Quellen
Niedrigwasser Impulszählung [y/r]	Anzahl jährlicher Ereignisse, bei denen der Abfluss unter einem definierten Schwellenwert bleibt	RICHTER et al. (1996)
Häufigkeit von Niedrigwasser Perioden [y/r]	Quotient aus Gesamtzahl der Niedrigwasser-Perioden (Schwellenwert: 5% der mittleren Tagesabflussmenge) und der Zeitreihenlänge	HUGHES & JAMES (1989)

Tab.30: Dauer der Niedrigwasserbedingungen

Index [Einheit]	Anmerkung	Quellen
Minimum der Tagesabflussmenge eines Jahres [m <sup>3</sup> /s]	Umfang des Abflussminimums eines Jahres bezogen auf die Dauer von 1, 3, 7, 30 und 90 Tagen	RICHTER et al. (1996)
Mittelwert der täglichen Minimalabflüsse [-]	Quotient des Mittelwertes der Minimalabflüsse für 1, 7 bzw. 30 Tage eines Jahres und dem Median der Abflussmenge	CLAUSEN et al. (2000)
NM7Q [m <sup>3</sup> /s]	Das niedrigste arithmetische Mittel des Abflusses an sieben aufeinanderfolgenden Tagen	GÖRGEN et al. (2010)
Unterschreitungswahrscheinlichkeit [-]	Quotient der mittleren Dauer von Abflüssen, die das 70iger und 90iger Perzentil der Werte überschreiten und dem Q50 über alle Jahre (Q75/Q50, Q90/Q50)	CLAUSEN et al. (2000), CLAUSEN & BIGGS (1997)
Dauer von Niedrigwasserbedingungen [d]	Mittlere Dauer des Auftretens von Niedrigwasser	RICHTER et al. (1996)
Anzahl der Tage ohne Abfluss [y/r]	Mittelwert der Tage ohne Abfluss pro Jahr	RICHTER et al. (1997), POFF (1996), POFF & WARD (1989),
Prozent der Monate ohne Abfluss [%]	Prozent der Monate ohne Abfluss	PUCKRIDGE et al. (1998)
FDC_Q90	niedriger Abfluss, der in 90% der Zeit des Bezugszeitraumes überschritten wird	GÖRGEN et al. (2010)
Q95	Häufig verwendeter Index zur Beschreibung von Niedrigwasserbedingungen	THARME (2003), SMAKHTIN (2001), BRILLY et al. (1997), RIGGS et al. (1980)
	Beurteilung von Grenzwerten, bezogen auf Wasserentnahmen bzw. -einleitungen	SMAKHTIN & TOULOUSE (1998), HIGGS & PETTS (1988),
Q90	Häufig verwendeter Index zur Beschreibung von Niedrigwasserbedingungen	SMAKHTIN (2001), SMAKHTIN et al. (1995)
	Schwellenwert zur Warnung vor kritischen Wasserständen	RIVERA-RAMIREZ et al. (2002)
Monatlicher Q50	Zur Planung und Verwaltung von Wasserressourcen	RIES & FRIESZ (2000), RIES (1997)
	Zur Empfehlung saisonaler Mindestwerte für Flüsse, die zur Wasserkrafterzeugung genutzt werden	METCALFE et al. (2003)

## Basisabfluss, Index

Der Basisabfluss-Index (base flow index, BFI) wird als Maß zur Beschreibung der Fließ-eigenschaften in einem Einzugsgebiet verwendet. Er bietet die Möglichkeit, den Anteil des Basisabflusses im Gesamtabfluss zu ermitteln (vgl. [Abflussganglinie](#)), weshalb er häufig für

Niedrigwasserstudien herangezogen wird (WMO 2008). Es existieren verschiedene Ansätze, um den Basisabfluss zu berechnen.

## 7Q10-Index

Der 7Q10-Index ist ein häufig eingesetzter Index. Er wurde ursprünglich verwendet, um einen Schwellenwert für Abwassereinleitungen festlegen zu können (DIAMOND et al. 1994, RIGGS et al. 1980, CARTER & PUTNAM 1978). Heute wird er aber auch generell zum Schutz aquatischer Systeme eingesetzt (U.S EPA 1999). Der Index basiert auf der Betrachtung der niedrigsten Abflusswerte, die an 7 aufeinander folgenden Tagen mit einer 10-jährigen Wiederkehrrate auftreten (SINGH 1974). Je nach Fragestellung wurde der Index auch für andere Wiederkehrzeiten abgewandelt (z. B. 7Q1, 7Q2, 7Q5, 7Q20 und 7Q25).

Tab.31: Abwandlungen des 7Q10-Index für 7 aufeinander folgende Tage

7Q-Index	Anmerkung	Quelle
7Q1	Trockenwetterabfluss	SMAKHTIN (2001)
	Wird für die Vergabe von Entnahmerechten verwendet	SMAKHTIN (2001), SMAKHTIN & TOULOUSE (1998)
7Q2	Häufig verwendeter Index	SMAKHTIN (2001), SMAKHTIN & TOULOUSE (1998)
	Aufrechterhaltung eines Minimalabflusses. Repräsentiert eine Periode des Wasserstress, die eine gewisse Reduktion der Population bewirkt	ONTARIO MINISTRY OF NATURAL RESOURCES (1994)
	Index zur Genehmigung einer Abwassereinleitung	TORTORELLI (2002)
7Q5	Kritische Niedrigwassermenge bezogen auf die Wasserqualität in der Fischzucht	SOUTH DAKOTA DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES (1998)
7Q20	Index für die Mindestabflussmenge, die benötigt wird, um ein Ökosystem aufrechtzuerhalten	ONTARIO MINISTRY OF NATURAL RESOURCES ET AL. (2003)
	Limitierender Faktor für die Abwassereinleitung in einen Vorfluter	ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT (2000)
7Q25	Index zur Beschreibung der kritischen Niedrigwasserbedingungen für hochwertige Fischereigewässer	SOUTH DAKOTA DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES (1998)

## Andere Niedrigwasser-Indices

Tab.32: Abwandlungen des 7Q10-Index für unterschiedliche Zeiträume

7Q-Index	Nutzung	Quelle
30Q10	Dimensionierung der Schmutzfrachteinleitung, Aufrechterhaltung der Wasserqualität	U.S EPA (1999), OHIO EPA DIVISION OF SURFACE WATER (1997)
	Schutz von Trinkwasserressourcen vor Belastung	NEW YORK STATE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION (1996)
4Q3	Zuweisung der Schmutzfracht von Punktquellen, Kriterien für aquatisches Leben	MINNESOTA OFFICE OF THE REVISOR OF STATUTES (2004)
	Ausarbeitung einer täglichen Gesamtbelastung durch verschiedene Wasserinhaltsstoffe	WALTEMEYER (2002)
90Q10	Kriterium für die Umweltbelastung von Fließgewässern	MINNESOTA OFFICE OF THE REVISOR OF STATUTES (2004), MICHIGAN DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY (2002)
1Q10	Maximumkriterium für Schmutzfrachtzuweisungen	MINNESOTA OFFICE OF THE REVISOR OF STATUTES (2004), OHIO EPA DIVISION OF SURFACE WATER (1997)

7Q-Index	Nutzung	Quelle
30Q5	Berechnung der stetigen Gesundheitsbelastung für Menschen durch Schmutzfracht	VIRGINIA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY (2004)
Harmonisches Mittel der Abflussmenge	Abschätzung der Auswirkungen von verschmutztem Grundwasser	MINNESOTA OFFICE OF THE REVISOR OF STATUTES (2004), SCHREFFLER (1998)
3Q20	Bestimmung der zulässigen Abwassermenge, die über die Flüsse des amerikanischen Bundesstaates Tennessee entsorgt werden darf	BINGHAM (1986)

#### Quellen (Stand 28.10.13)

- Bingham, R.H. (1986): Regionalization of low-flow characteristics of Tennessee streams. - U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report No.85-4191, 88p.
- Brilly, M., Kobold & M., & Vidmar, A. (1997): Water information management system and low flow analysis in Slovenia. FRIEND '97 - Regional Hydrology: concepts and models for sustainable water resource management. – Proc. Int. Conf., 246: 117-124.
- Carter, R. F. & Putnam, S. A. (1978): Low flow frequency of Georgia streams. - U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report No.77-127, 104p.
- Clausen, B. & Biggs, B. J. F. (1997): Relationships between benthic biota and hydrological indices in New Zealand streams. - Freshwater Biology, 38: 327-342.
- Clausen, B., Iversen, H. L., & Ovinsen, N. B. (2000): Ecological flow indices for Danish streams. - In: Nilsson, T. (ed), Nordic Hydrology Conference, Uppsala, Sweden, p. 3-10.
- Diamond, J. M., Hall, J. C., Pattie, D. M. & Gruber, D. (1994): Use of an integrated monitoring approach to determine site-specific effluent metal limits. - Water Environment Research, 66: 733- 743.
- Görge, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buitevald, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C. & Volen, D. (2010): Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project. - Report No. I-23 of the CHR, 208 S.
- Higgs, G. & Petts, G. (1988): Hydrological changes and river regulation in the UK.- Regulated Rivers: Research & Management, 2: 349-368.
- Hughes, J. M. R. & James, B. (1989): A hydrological regionalization of streams in Victoria, Australia, with implications for stream ecology. - Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 40: 303-326.
- Metcalfe, R. A., Smakhtin, V. Y. & Krezek, C. (2003): Simulating and characterising natural flow regimes. - Waterpower Project Science Transfer Report 1.0, Ontario Ministry of Natural Resources, 14p.
- Michigan Department of Environmental Quality, Surface Water Quality Division (2002): Total maximum daily load for mercury for Hammell creek, Houghton County, Michigan, Accessed: March 2004, 7p.
- Minnesota Office of the Revisor of Statutes (2004): Minnesota Rule 7052.0200, Total Maximum Daily Loads. Accessed: March 2004
- New York State Department of Environmental Conservation, Division of Water (1996): Total maximum daily loads and water quality-based effluent limits. Accessed: March 2004, In: U.S. EPA (2006): Compilation of EPA Mixing Zone Documents. – EPA-Report EPA 823-R-06-003, 13 p.
- Ohio Environmental Protection Agency Division of Surface Water (1997): Laws and Rules, Accessed: March 2004. – In: Pyrcce, R.S. [ed.] (2004): Hydrological Low Flow Indices and their Uses. WSC Report No.04-2004. Watershed Science Centre, Peterborough, Ontario, 33 p.
- Olden, J. D. & Poff, N. L. (2003): Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. - River Research and Applications, 19: 101-121.
- Ontario Ministry of the Environment (2000): Guide for applying for approval of municipal and private water and sewage works, Sections 52 and 53, Ontario Water Resources Act, R.S.O.1990 (as amended by services improvement act, s.o.1997). - In: Pyrcce, R. S. [ed.] (2004): Hydrological Low Flow Indices and their Uses. WSC Report No.04-2004. Watershed Science Centre, Peterborough, Ontario, 33 p.
- Ontario Ministry of Natural Resources, Ontario Ministry of the Environment, Ontario Ministry of Agriculture and Food, Ontario Ministry of Municipal Affairs and Housing, Ontario Ministry of Enterprise, Opportunity and Innovation, Association of Municipalities of Ontario, Conservation Ontario, (2003): Ontario Low Water Response. Accessed: March 2004, 39p.
- Ontario Ministry of Natural Resources (1994): Natural Channel Systems, An Approach to Management and Design, Queen's Printer for Ontario, Ontario Ministry of Natural Resources, Peterborough, Ontario, 103p.
- Poff, N. L. (1996): A hydrogeography of unregulated streams in the United States and an examination of scale-dependence in some hydrological descriptors. - Freshwater Biology, 36: 71-91.
- Poff, N. L. & Ward, J.V. (1989): Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of streamflow patterns. - Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 46: 1805-1818.
- Puckridge, J. T., Sheldon, F., Walker, K. F. & Boulton, A.J. (1998): Flow variability and the ecology of large rivers. - Marine and Freshwater Research, 49: 55-72.
- Pyrcce, R. S. (2004): Hydrological Low Flow Indices and their Uses. - WSC Report No.04-2004. Watershed Science Centre, Peterborough, Ontario, 33 p.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Braun, D. P. & Powell, J. (1998): A spatial assessment of hydrologic alterations within a river network. - Regulated Rivers: Research & Management, 14: 329-340.

- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Wigington, R. & Braun, D. P. (1997): How much water does a river need? - *Freshwater Biology*, 37: 231-249.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Powell, J., & Braun, D. P. (1996): A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. - *Conservation Biology*, 10: 1163-1174.
- Ries, K.G. (1997): August median streamflows in Massachusetts. - U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 97-4190, 27p.
- Ries, K.G., & Friesz, P.J. (2000): Methods for estimating low-flow statistics for Massachusetts streams.- U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4135. 81 p.
- Riggs, H. C., Caffey, J. E., Orsborn, J. F., Schaake, J. C., Singh, K. P., & Wallace, J.R. (Task Committee of Low-Flow Evaluation, Methods, and Needs of the Committee on Surface-Water Hydrology of the Hydraulics Division) (1980): Characteristics of low flows. *Journal of the Hydraulics Division*. – *Proc. of the Am. Soc. of Civil Engineers*, 106: 717-731.
- Rivera-Ramirez, H.D., Warner, G. S. & Scatena, F.N. (2002): Prediction of master recession curves and baseflow recessions in the Luquillo mountains of Puerto Rico. - *Journal of the American Water Resources Association*, 38: 693-704.
- Schreffler, C. L. (1998): Low-flow statistics of selected streams in Chester County. Pennsylvania. - *Water-Resources Investigations Report 98-4117*, 13p.
- Singh, K. P. & Stall, J. B. (1974): Hydrology of 7-day 10-yr low flows. - *Journal of the Hydraulics Division*, HY12: 1753-1771.
- Smakhtin, V. Y. (2001): Low flow hydrology: a review. - *Journal of Hydrology*, 240: 147-186.
- Smakhtin, V. Y. & Toulouse, M. (1998): Relationships between low-flow characteristics of South African streams. - *Water SA*, 24: 107-112.
- Smakhtin, V. Y., Watkins, D. A. & Hughes, D.A. (1995): Preliminary analysis of low-flow characteristics of South African rivers. - *Water SA*, 21: 201-210.
- South Dakota Department of Environment and Natural Resources (1998): Mixing zone and dilution implementation procedures. Accessed: March 2004, 10p. - In: U.S. EPA (2006): *Compilation of EPA Mixing Zone Documents*. – EPA-Report EPA 823-R-06-003, 13 p.
- Tharme, R. E. (2003): A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. - *River Research and Applications*, 19: 397-441.
- Tortorelli, R. L. (2002): Statistical summaries of streamflow in Oklahoma through 1999. - U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 02-4025. 514 p.
- U.S. EPA (1999): Data collection for the hazardous waste identification rule, Section 6.0 Surface Water Data, prepared by the Centre for Environmental Analysis, Research Triangle Institute, NC, Office of Solid Waste, Washington DC., 69p.
- Virginia Department of Environmental Quality (2004): 07/09/02 State Water Control Board meeting - Ammonia; Part 1. Surface water standards with general statewide application, 9 VAC 25-260-140 Criteria for surface water. Accessed: March 2004, In: U.S. EPA (2006): *Compilation of EPA Mixing Zone Documents*. – EPA-Report EPA 823-R-06-003, 13 p.
- Waltemeyer, S. D. (2002): Analysis of the magnitude of frequency of the 4-day annual low flow and regression equations for estimating the 4-day, 3-year low-flow frequency at ungaged sites on unregulated streams in New Mexico. -U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 01-4271, 22p.
- WMO (2008): Manual on low-flow estimation and prediction, Operational hydrology report No. 50. [ed.: World Meteorological Organization]
- Wood, P. J., Agnew, M. D. & Petts, G. E. (2000): Flow variations and macroinvertebrate community responses in a small groundwater-dominated stream in south-east England. - *Hydrological Processes*, 14: 3133-3147.

## No-regret-Maßnahmen

No-regret-Maßnahmen basieren auf den Strategien, die mit oder ohne Folgen des Klimawandels ökonomisch, ökologisch und sozial sinnvoll sind. Bei diesen Maßnahmen übersteigt bereits unter den heutigen Klimabedingungen der zu erwartende Nutzen die anfallenden Kosten der Maßnahme ([www.klimzug-radost.de](http://www.klimzug-radost.de)). Sie werden vorsorglich ergriffen, um negative Auswirkungen zu vermeiden oder zu mindern. Ihr Nutzen für die Gesellschaft ist auch dann noch gegeben, wenn der eigentliche Grund für die ergriffene Maßnahme nicht im erwarteten Ausmaß zum Tragen kommt ([NIANG-DIOP & BOSCH 2004](#), [UKCIP 2005](#), [www.klima-und-raum.org](http://www.klima-und-raum.org)).

Die IPCC-Definition von No-regret-Maßnahmen beinhaltet zusätzlich eine zweite Komponente. Durch die Verminderung lokaler und regionaler Luftverschmutzung aufgrund der reduzierten Verwendung fossiler Brennstoffe, ergeben sich Vorteile für die Gesundheit und die Umwelt ([www.globalcentres.org](http://www.globalcentres.org)).

Da diese Maßnahmen bereits unter den heutigen klimatischen Bedingungen zu rechtfertigen sind ([UKCIP 2005](#)), stellen ihre Umsetzung an vielen Standorten den ersten Schritt für langfristige Strategien zur **Anpassung** dar ([climate-adapt.eea.europa.eu](http://climate-adapt.eea.europa.eu)). Darüber hinaus bieten sie

die Möglichkeit, Erfahrungen zu sammeln, die für spätere Anpassungsmaßnahmen von Nutzen sein können. Allerdings zeigt die Praxis, dass Klimawandelbezogene No-regret-Maßnahmen nur selten umgesetzt werden. Dies liegt vor allem daran, dass die Maßnahmen Schutzgüter wie Umwelt, Biodiversität oder Grundwasser bzw. die Lebensqualität negativ beeinflussen würden, was ihre Umsetzung letztendlich ausschließt.

Beispiele für No-Regret-Maßnahmen zur **Anpassung** an den Klimawandel sind:

- Einführung energieeffizienter Gebäudestandards für die Bereiche Wärmedämmung und Heizung (BIRKMANN et al. 2013)
- Klimasichere Bauweise
- Erarbeitung von Evakuierungsplänen und Frühwarnsystemen gegenüber Hochwasserereignissen (BIRKMANN et al. 2013)
- Vermeidung des Gebäudebaus in risikobehafteten Gebieten (z.B. Überschwemmungsgebiete)
- Minderung von Überschwemmungsfolgen: z. B.: Einsatz wasserdichter Materialien für Böden, Verlagerung elektrischer Steuerungen oder Heizöltanks in höhere Lagen
- Reduzierung der Leckagen in Wasserversorgungsleitungen
- Aufrechterhaltung der Funktionalität von Entwässerungsrinnen
- Umgestaltung von Grundstücken und Gebäuden zur Minimierung der Überhitzung in den Sommermonaten

Aber auch die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen stellt eine No-regret-Maßnahme dar (IFÖK 2009).

No-regret Maßnahmen sind deshalb so attraktiv, weil sie trotz der Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Folgen des Klimawandels, in jedem Fall von Nutzen sind, egal wie der Klimawandel ausfällt (HALLEGATT 2009). Außerdem sind No-regret-Maßnahmen zeitnah umsetzbar und durch ihre Multifunktionalität wird die Akzeptanz erhöht ([www.klima-und-raum.org](http://www.klima-und-raum.org)).

Ob eine Maßnahme eine No-regret-Maßnahme ist, hängt allerdings von den jeweiligen Standortbedingungen ab. Beispielsweise kann eine zusätzliche Bewässerungsstruktur in Regionen, die bereits mit Wasserknappheit konfrontiert sind, eine No-regret-Maßnahme darstellen. In anderen Regionen kann sie aufgrund der hohen Investitionskosten nur dann als No-regret-Maßnahme klassifiziert werden, wenn durch den Klimawandel längere Perioden mit Wassermangel zu erwarten sind ([climate-adapt.eea.europa.eu](http://climate-adapt.eea.europa.eu)). Vergleiche dazu auch Low-regret-Maßnahmen.

#### Quellen (Stand 28.10.13)

Birkmann, J., Böhm, H. R., Buchholz, F., Büscher, D., Daschkeit, A., Ebert, S., Fleischhauer, M., Frommer, B., Köhler, S., Kufeld, W., Lenz, S., Overbeck, G., Schanze, J., Schlipf, S., Sommerfeldt, P., Stock, M., Vollmer, M., Walkenhorst, O. (2013): Glossar Klimawandel und Raumentwicklung (2.üb.Fassung). - E-Paper der ARL Nr. 10. Hannover, 33 S.

Hallegatte, S. (2009): Strategies to adapt to an uncertain climate change. In: Global Environmental Change 19(2), 240-247.

IFÖK (2009): Anpassung an den Klimawandel: Die unterschätzte Herausforderung. IFÖK-Bericht Pluspunkt, 13 S.

Niang-Diop, I. & Bosch, H. (2004): Formulating an Adaptation Strategy. – In: Lim, B. & Spanger-Siegfried, E. [eds.]: Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures, 185-204.

UKCIP (2005): Identifying adaptation options, UKCIP-Report 34p. [http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wp-content/PDFs/ID\\_Adapt\\_options.pdf](http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wp-content/PDFs/ID_Adapt_options.pdf)

<http://www.klima-und-raum.org>

[http://www.klimzug-radost.de: JB3\\_FT\\_Gewaesser\\_Landwirtschaft\\_S\\_27-30.pdf](http://www.klimzug-radost.de: JB3_FT_Gewaesser_Landwirtschaft_S_27-30.pdf)

<http://www.globalcentres.org>

<http://climate-adapt.eea.europa.eu>

## Pegel

In der Hydrographie wird eine Messstelle an oberirdischen Gewässern als Pegel bezeichnet. Dagegen werden zur Grundwasserbeobachtung Grundwassermessstellen verwendet. In der Schifffahrt wird zwischen einem Brückenpegel, Binnenpegel (Flüsse und Seen) und einem Küstenpegel (Meer) unterschieden ([www.globistica.com](http://www.globistica.com)).

Am Pegel wird der Pegelstand gemessen, aus dem sich der **Wasserstand** ableiten lässt. Pegel, die zum Auslösen des Hochwassermelddienstes dienen, nennt man Hochwassermeldepegel (MfUF-RLP 1998).

**Quellen** (Stand 28.10.13)

MfUF-RLP (1998): Hochwasserfibel Leben, Wohnen und Bauen in hochwassergefährdeten Gebieten. – 51S. [Hrsg.; Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz]  
<http://www.globistica.com>

## Phänologisches Jahr

Die Phänologie untersucht das tatsächliche Eintreten bestimmter botanischer Ereignisse auf regionaler Ebene. Deshalb basiert die Einteilung des phänologischen Jahres auf dem Eintreten definierter phänologischer Phasen ([www.deutscher-wetterdienst.de](http://www.deutscher-wetterdienst.de)). In Mitteleuropa unterscheidet man zwischen zehn phänologischen Jahreszeiten.

Tab.33: Die phänologischen Jahreszeiten

Phänologische Jahreszeit	Indikatorpflanze (Leitphase)	Ersatz für Indikatorpflanze (Ersatzphase)
Vorfrühling	Hasel (Blüte)	Schneeglöckchen (Blüte)
Erstfrühling	Forsythie (Blüte)	Stachelbeere (Blattentfaltung)
Vollfrühling	Apfel (Blüte)	Stiel-Eiche (Blattentfaltung)
Frühsommer	Schwarzer Holunder (Blüte)	Robinie (Blüte)
Hochsommer	Sommer-Linde (Blüte)	Rote Johannisbeere (Früchte)
Spätsommer	Apfel, frühreifend (Früchte)	Eberesche (Früchte)
Frühherbst	Schwarzer Holunder (Früchte)	Kornelkirsche (Früchte)
Vollherbst	Stiel-Eiche (Früchte)	Roskastanie (Früchte)
Spätherbst	Stiel-Eiche (Blattverfärbung)	Eberesche (Blattfall)
Winter	Stiel-Eiche (Blattfall)	1. Apfel, spätreifend (Blattfall) 2. Europ. Lärche (Nadelfall)

**Quellen** (Stand 28.10.13)

[www.deutscher-wetterdienst.de](http://www.deutscher-wetterdienst.de)

## Regenperiode

Eine Regenperiode ist durch eine Abfolge von aufeinanderfolgenden Tagen gekennzeichnet, an denen jeweils ein Niederschlag von mindestens 1 mm/Tag gefallen ist. ([cccma.seos.uvic.ca](http://cccma.seos.uvic.ca)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

[http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/list\\_27\\_indices.shtml](http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/list_27_indices.shtml)

## Regentag

In der Meteorologie spricht man bereits von einem Regentag, wenn innerhalb von 24 Stunden eine Regenhöhe von  $\geq 1\text{mm}$  ( $1\text{ l/m}^2$ ) gemessen wurde ([cccma.seos.uvic.ca](http://cccma.seos.uvic.ca)). Die Definition wird auch als „simple precipitation intensity index“ (SDII) bezeichnet. Somit kann auch ein sonniger und trockener Tag, an dem es nur in den Nachtstunden einen kurzen Schauer gab, der die Mindestniederschlagsmenge überschritten hat, als Regentag gewertet werden.

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

[http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/list\\_27\\_indices.shtml](http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/list_27_indices.shtml)

## Resilienz

Der Begriff Resilienz stammt ursprünglich aus der Ökosystemforschung ([WALKER et al. 2006](#)). Er beschreibt eine strukturelle und dynamische Systemeigenschaft, die die **Anpassungsfähigkeit** beeinflusst ([KLEIN et al. 2004](#)) und ein Maß für die Widerstandsfähigkeit eines Systems darstellt. Während der Begriff der Resilienz auf die Bewältigung von Ereignissen abzielt, richtet sich das Augenmerk der **Vulnerabilität** auf die Anfälligkeit eines Systems.

Im übertragenden Sinn bedeutet dies für soziale Systeme, dass sich ihre Resilienz auf die Fähigkeit bezieht, nachteilige Auswirkungen zu absorbieren bzw. sie zu neutralisieren. Sie beschreibt das Potenzial Störungen oder Veränderungen aufzunehmen, ohne die grundlegenden funktionellen Eigenschaften zu verlieren ([HOLLING 1973](#)). Dies bezieht sich auch auf die Erholungspause, die das System braucht, um nach der Störung wieder in den ursprünglichen Zustand zurückzukehren ([WILLOWS & CORNELL 2003](#)). Somit sind hoch belastbare Systeme diejenigen, die entweder hohen Stress ertragen oder sich schnell regenerieren können. Das System muss folglich, im Sinne einer Reorganisationsphase, anpassungs- und lernfähig gegenüber unvorhergesehenen Umwelteinflüssen sein ([KLEIN et al. 2004](#), [BIRKMANN 2008](#))

In Zusammenhang mit dem Klimawandel wird der Begriff im Wesentlichen als Robustheit oder Widerstandskraft verstanden, die es ermöglicht, trotz äußerer Einflüsse zentrale Funktionen des Systems aufrechtzuerhalten ([www.stadtklimatse.net](http://www.stadtklimatse.net)). Der IPCC definiert Resilienz als Änderungsbetrag, dem sich ein System unterziehen kann, ohne seinen Zustand zu verändern ([IPCC 2001](#)).

Generell kann Resilienz als eine Art Puffer angesehen werden, der es Individuen oder Systemen ermöglicht, ein Ereignis bewältigen zu können, ohne alle Ressourcen verbrauchen zu müssen bzw. ausreichende Optionen zu besitzen, um nach dem Ereignis den Ausgangszustand wiederherzustellen ([www.climate-adaptation.info](http://www.climate-adaptation.info)).

**Quellen** (Stand 28.10.13)

Birkmann, J. (2008): Globaler Umweltwandel, Naturgefahren, Vulnerabilität und Katastrophenresilienz. Notwendigkeit der Perspektivenerweiterung in der Raumplanung. - *Raumforschung und Raumordnung* 66 (1), 5-22.

Holling, C. S. (1973): Resilience and stability of ecological systems. - *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol 4 :1-23.

IPCC (2001): *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press

Klein, R. J. T., Nicholls, R. & Thomalla, F. (2004): Resilience to natural hazards: How useful is this concept? - *Environmental Hazards* 5(2003) 35-45.

Walker, B. H., Gunderson, L. H., Kinzig, A. P., Folke, C., Carpenter, S. R. & Schultz, L. (2006): A handful of heuristics and some propositions for understanding resilience in social-ecological systems. - *Ecology and Society* 11(1): 13. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art13/>

Willows, R. I. & . Cornell, R. K (eds.) (2003): *Climate Adaptation: Risk, Uncertainty and Decisionmaking*. - UKCIP Technical Report, Oxford. 154 S.

## Saffir-Simpson-Hurrikan-Skala

Die SAFFIR-SIMPSON-Hurrikan-Skala wurde Anfang der 1970er Jahre von H. SAFFIR und B. SIMPSON entwickelt, und ab 1972 vom National Hurricane Center offiziell eingeführt ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)). Zur Einordnung der Stürme wird die Windgeschwindigkeit verwendet. Die Einteilung in fünf Kategorien, mit 1 beginnend, wurde nach der Höhe der vom Sturm erzeugten Meereswellen und dem Luftdruck im Zentrum (Auge) des Hurrikans vorgenommen.

Tab.34: SAFFIR-SIMPSON-Hurrikan Skala (Stand 2012) ([www.nhc.noaa.gov](http://www.nhc.noaa.gov))

Stufe/Kategorie	Bezeichnung	Windgeschwindigkeit		Anstieg des Wasserspiegels [m]
		Knoten	km/h	
Tropisches Tief		< 34	< 63	≈ 0
Tropischer Sturm		34 – 64	63 – 118	0,1 – 1,1
Hurrikan Kategorie 1	schwach	64 – 82	119 – 153	1,2 – 1,6
Hurrikan Kategorie 2	mäßig	83 – 95	154 – 177	1,7 – 2,5
Hurrikan Kategorie 3	stark	96 – 112	178 – 209	2,6 – 3,8
Hurrikan Kategorie 4	sehr stark	113 – 136	209 – 251	3,9 – 5,5
Hurrikan Kategorie 5	verheerend	> 136	> 251	> 5,5

### Quellen (Stand: 31.07.12)

<http://www.nhc.noaa.gov>  
<http://www.dwd.de>

## Schneebedeckung

Als Tage mit Schneebedeckung werden die Tage betrachtet, an denen eine geschlossene Schneedecke mit einer Höhe von  $\geq 1$ cm auftritt. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) definiert vier Schneebedeckungs-Grade ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)).

Die Schneebedeckung spielt für hydrologische Fragestellungen in Bergregionen eine große Rolle. Während der kalten Jahreszeit werden die Niederschläge als Schnee und Eis in den Hochlagen gespeichert, so dass diese nicht zum Abfluss beitragen können. Während der Schneeschmelze wird das Wasser dann freigesetzt und führt in den Sommermonaten zu einem Hochwasserabfluss. In Abhängigkeit der Temperaturen ist die Speicherung der festen Niederschläge über Wochen und Monate möglich, was den Grundwasserhaushalt auch über die Winterperiode hinaus beeinflussen kann.

Tab.35: DWD-Klassifikation des Schneebedeckungsgrades

Schneebedeckungsgrad	Beschreibung
1,0	geschlossene Schneedecke
0,5 bis <1,0	durchbrochene Schneedecke
0,1 bis <0,5	Schneeflecken
<0,1	Schneereste

### Quellen (Stand: 31.07.12)

<http://www.dwd.de>

## Schneemenge

Die Schneemenge wird als Schneewasseräquivalent in [mm] angegeben. Also die Wassermenge, die man erhält, wenn man eine Schneedecke mit bekannter Höhe und Dichte zum Schmelzen bringt. Durch die Kristallstruktur der Schneeflocken ist die Schneehöhe deutlich größer als die entsprechende Wassermenge. Als Faustregel gilt hier: 1 mm Niederschlag entspricht rund 10 mm Schnee ([www.glaette24.de](http://www.glaette24.de)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.glaette24.de>

## Schneetag

Als Schneetag wird ein Tag definiert, an dem zwischen dem Frühtermin (6 Uhr) und dem Frühtermin des Folgetages Niederschlag ausschließlich in Form von Schnee gefallen ist. Die Niederschlagsmenge (geschmolzener Schnee) muss dabei mindestens  $0,1 \text{ l/m}^2$  bzw. 0,1 mm betragen ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)). Zieht man die Schneehöhe zur Definition heran, so ist ein Schneetag ein Tag, an dem mindestens 1 cm Schnee gefallen ist ([eca.knmi.nl](http://eca.knmi.nl)).

Neben den meteorologischen gibt es aber auch sektorbezogene Definitionen. So verwendet die Tourismusbranche eine etwas abweichende Definition, die als Grundlage zur Absicherung des Umsatzrisikos dient. Hier ist ein Schneetag ein Tag, an dem im Skigebiet die Tagesminimumtemperatur unter  $3^\circ\text{C}$  liegt oder der Niederschlag in Form von Schnee fällt ([www.deutschewetterschutz.de](http://www.deutschewetterschutz.de)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.dwd.de>

<http://www.deutschewetterschutz.de>

<http://eca.knmi.nl/>

## Sommertag

Ein Sommertag ist die meteorologisch-klimatologische Bezeichnung für einen Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur  $25^\circ\text{C}$  mindestens einmal am Tag erreicht oder überschreitet ([eca.knmi.nl](http://eca.knmi.nl/)).

Die Menge der Sommertage enthält auch die Untermenge der „**Heißen Tage**“. Die Anzahl der Sommertage ergänzt die Aussagen zur Güte eines Sommers, welcher primär anhand der Anzahl der „Heißen Tage“ ermittelt wird ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.dwd.de>

<http://eca.knmi.nl/>

## Starkregen

Für Starkregen bzw. ein Extremniederschlagsereignis gibt es keine allgemeine Definition, da die charakteristischen Niederschlagsmengen von der jeweiligen Klimazone abhängen (BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1996). Schwellenwerte, die zur Definition herangezogen werden, können auf festen Größen, Perzentilwerten oder alternativ auf deskriptiver Statistik basieren, was letztere geographisch variabel macht (MANTON et al. 2001). Im Allgemeinen kann Starkniederschlag als selten auftretender Niederschlag mit zerstörerischer Wirkung (z.B. Überflutungen) bezeichnet werden. Der Starkregen kann zu schnell ansteigendem und abfließendem Hochwasser oder Überschwemmungen führen, die häufig mit Bodenerosion einhergehen.

### Definition nach Intensität und Niederschlagsmenge

Abhängig von der Fragestellung existieren verschiedene Definitionen, die sich aber immer auf Niederschlagsmenge pro Zeiteinheit beziehen. Als Kriterium für Starkregen wird oft die WUSSOW-Formel (NACHTNEBEL 2003) für eine Niederschlagsdauer von unter 30 Minuten bzw. die Starkregenkriterien nach SCHIMPF (SCHIMPF 1970) für Starkregen über 30 Minuten angesetzt. LIEBMANN et al. (2001) sprachen von einem Starkregen, wenn die Niederschlagsmenge an einem Tag größer ist als 20% der vierteljährlichen Jahressumme (5-Monats-Periode).

Tab.36: Übersicht von Starkregen-Schwellenwerten für Deutschland (1 mm = 1 (l/m<sup>2</sup>))

Zeitintervall	Kriterium n. WUSSOW	Kriterium n. SCHIMPF	Starkregen, DWD	Heftiger Starkregen, DWD	Niederschlagsrekorde Deutschland
5 min	5,0 mm	7,5 mm	5 mm		16,3 mm (25. 08.2006), Berlin-Tegel ( <a href="http://info.infolands.de">info.infolands.de</a> )
10 min	7,1 mm	9,1 mm	7,1 mm		126 mm in 8 min. (25.05.1920), Füssen ( <a href="#">Häuser 1922</a> )
20 min	10 mm	10,9 mm	10 mm		
30 min	12,2 mm	12,2 mm			
1 h	17,1 mm	14,7 mm	17,1 mm	25 mm	108,3 mm (25. 08.2006), Berlin-Tegel ( <a href="http://info.infolands.de">info.infolands.de</a> )
2 h	24,0 mm	17,8 mm			
6 h	42,4 mm	24,0 mm		35 mm	
1 d	84,9 mm	35,0 mm			312 mm (12.08. bis 13.08.02), Zinnwald, Osterzgebirge (DWD)
<b>Weitere Definitionen für Starkregenereignisse</b>					
<b>Zeitintervall</b>	<b>Schwellenwerte, Literaturangaben mit [Länderkennung]</b>				
1 d	10 mm: Starkregen (heavy precipitation), ( <a href="http://eca.knmi.nl">eca.knmi.nl</a> ) [EUR] 20 mm: heftiger Starkregen (very heavy precipitation), ( <a href="http://eca.knmi.nl/">eca.knmi.nl/</a> ) [EUR] 20 mm: MICE (2005) [D], BERNHOFER et al. (2005) [D] 60 mm: KARAGIANNIDIS et al. (2009) [EUR]				
1 d	nach Perzentil-Methode (ZOLINA et al. 2008) [D] Bergland, Süddeutschland: 35 mm; Bergland, Mitte Deutschland: 20 -25 mm Flachland, Deutschland: 10 mm				

[D]: Deutschland, [EUR]: Europa

### Definition nach statistischer Auswertung

Auch die statistischen Auswertungsmethoden zur Ermittlung von Starkregenereignissen sind nicht einheitlich und unterscheiden sich nach Zielsetzung und Datenbasis. Eine häufig praktizierte Vorgehensweise ist die Definition des *Perzentils* (Hundertstelwert), dessen Überschreitung ein Starkregenereignis signalisiert. Die betrachteten Zeiträume besitzen allerdings keine definierte Länge und unterscheiden sich von Autor zu Autor.

GRIESER & BECK (2002) verwendeten für ihre Trenduntersuchung in Deutschland (1941 – 2000) das 99. *Perzentil* um Extremniederschläge zu beschreiben. In HUNDECHA & BARDOSSY (2005) wurden im Rhein-Einzugsgebiet für das Zeitintervall 1958 – 2001 alle Ergebnisse über dem 90. *Perzentil* als Starkregen klassifiziert. ZOLINA et al. (2008) verwendeten bei ihrer Betrachtung für Westdeutschland (1954 – 2004) das 95. *Perzentil* zur Beschreibung von Starkniederschlägen bzw. das 99. *Perzentil* für Extremniederschläge, wobei sich deutliche regionale Unterschiede zeigten.

Viele Autoren betrachteten dazu Niederschlagsstationen im flächenhaften Zusammenhang, um so robustere Ergebnisse zu erhalten. Die Aussagekraft einzelner Stationen ist allerdings auf lokale Gegebenheiten begrenzt. Da bei dem statistischen Ansatz oft große regionale Unterschiede auftreten, müssen die Ergebnisse immer gebietsbezogen betrachtet werden. Vergleiche zwischen unterschiedlichen Regionen sind dagegen wenig hilfreich. So definierten GROISMAN et al. (2004) den Beginn eines heftigen Starkregens ab 0,3% der statistischen Verteilungskurve, was für den Mittleren Westen der USA 80 mm/d bedeutet. Die höchsten Werte für Starkregen in Deutschland unter Verwendung des 95. *Perzentils* liegen dagegen bei Werten um 35 mm/d (ZOLINA et al. 2008).

### Definition nach Wiederkehrraten

FREI & SCHÄR (2001) betrachteten für die Schweiz (Datenbasis 1901 – 1994) die Überschreitung der oberen *Perzentile* 1/10, 1/30, 1/ 100 und 1/365, was einer jeweiligen Wiederkehrperiode von 10, 30, 100 bzw. 365 Tagen entspricht. Die Ergebnisse wurden nachfolgend als „moderat“, „intensiv“, „stark“ und „extrem“ beschrieben.

Zum Vergleich: Beim Elbehochwasser 2002 wurden an der Station Zinnwald-Georgenfeld (Sachsen) im August binnen 24 Stunden 312 Millimeter gemessen. Die Wiederkehrrate für solche Tagesmengen liegt bei rund 500 Jahren (LUTERBACH 2004).

QUIRMBACH (2011) ging bei der Analyse der Häufigkeit von Starkregen in der Emscher-Lippe-Region einen ähnlichen Weg. Er verwendete entsprechend der Definition des MICE-Projektes (MICE 2005) einen Schwellenwert von 20 mm pro Tag. Diese Niederschlagsmenge tritt im Mittel 3,6 Mal pro Jahr an einer Messstation auf und entspricht somit der meteorologischen DWD-Definition eines Tagessummenwertes für einen Starkregen, da dieser nur an etwa jedem 100. Tag überschritten wird (DWD 2011). BARTELS et al. (1997) gaben abweichend davon an, dass die Niederschlagsmenge eines Starkregens im Mittel höchstens zweimal jährlich auftreten darf.

***Nutzerhinweis:*** Einerseits gibt die Verwendung von festen Schwellenwerten einen schnellen Überblick und ermöglicht eine einfache Art der Klassifikation. Andererseits werden dadurch für unterschiedliche Regionen, Höhenlagen und Klimazonen die gleichen Maßstäbe angelegt, was wenig sinnvoll ist. Zielführender ist die statistische Herangehensweise unter Verwendung der größten 1% - 5% der Verteilungskurve bei gleichzeitiger Angabe der Wiederkehrrate. Wichtig für eine nachfolgende Dokumentation und zur Einordnung der Ergebnisse sind genaue Angaben zu: Region, Anzahl der Messstellen, Abstand der Messstellen bzw. Messstellendichte und Betrachtungszeitraum.

### Quellen (Stand: 31.07.12)

Bartels, H.; Dietzer, B.; Malitz, G.; Albrecht, F.M. & Guttenberger, J. (2005): KOSTRA- DWD-2000 Starkniederschlagshöhen für Deutschland – Fortschreibungsbericht, 53 S., Deutscher Wetterdienst, Offenbach.

Baumgartner, A. & Liebscher H.J. (1996): Allgemeine Hydrologie. 694 S., Gebrüder Bornträger, Berlin.

Bernhofer, C., Goldberg, V. & J. Franke (2005): REKLI II – Optimierung der Klimadatenbank REKLI für Auswertungen im Bereich der Wasserwirtschaft. Tharandt, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben des Ministeriums für Landwirtschaft, 22 S.

DWD (2011): Pressemitteilung DWD vom 15.02.2011

- Frei, C. & Schär, C. (2001): Detection probability in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. - *J. Climate* 14, 1568-1584.
- Grieser, J. & Beck, C. (2002): Extremniederschläge in Deutschland Zufall oder Zeichen? -Klimastatusbericht, DWD. 141 S.
- Groisman, P.Ya. R.W. Knight, T.R. Karl,D. R. Easterling, B.Sun, & J. M. Lawrimore (2004): Contemporary Changes Of The Hydrological Cycle Over The Contiguous United States: Trends Derived from In Situ Observations. *J. Hydrometeor*, 5, 64–85. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)005<0064:CCOTHC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1525-7541(2004)005<0064:CCOTHC>2.0.CO;2)
- Haeuser, J (1922): Ein Wolkenbruch von bisher noch nicht gekannter Intensität. - In: Kurze starke Regenfälle in Bayern, ihre Ergiebigkeit, Dauer, Intensität, Häufigkeit und Ausdehnung. Abhandlungen der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde München, 1. Ergänzungsband, umfassend den Beobachtungszeitraum 1916–1920.
- Hundecha, Y. & Bardossy, A. (2005): Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century. - *Int. Journal of Climatology* 25: 1189–1202.
- Karagiannidis, A., Karacostas, T., Maheras, P. & Makrogiannis, T. (2009): Trends and seasonality of extreme precipitation characteristics related to mid-latitude cyclones in Europe. - *Adv. Geosci.*, 20, 39–43.
- Liebmann, B., Jones, C. & Carvalho, L. M. V. (2001): Interannual variability of daily extreme precipitation events in the state of São Paulo, Brazil. - *J. Climate*, 14, 208-218.
- Luterbacher, J. (2004): Flutkatastrophen in Zentraleuropa - erlebte Geschichte und Szenarien für die Zukunft. In: Bedrohte Museen: Naturkatastrophen – Diebstahl – Terror. Bodenseesymposium in Bregenz (Österreich), pp. 10-15.
- Manton, M. J., Della-Marta, P. M., Haylock, M. R., Hennessy, K. J., Nicholls, N., Chambers, L. E., Collins, D.A., Daw, G., Finet, A., Gunawan D., Inape, K., Isobe, H., Kestin, T. S., Lefale, P., Leyu, C. H., Lwin, T., Maitrepierre, L., Ouprasitwong, N., Page, C. M., Pahalad, J., Plummer, N., Salinger, M. J., Suppiah, R., Tran, V. L., Trewin, B., Tibig, I. & Yee, D. (2001): Trends in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the South Pacific: 1961–1998. - *International Journal of Climatology* 21: 269–84, DOI:10.1002/joc.610.
- MICE (2005): Final-Report of the MICE-Project (Modelling the Impacts of Climate Extremes). Climatic Research Unit, University of East Anglia, UK, 20 p.
- Nachnebel, H. P., 2003: Studienblätter der Gewässerkunde, Hydrometrie und Hydroinformatik. Boku Wien, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, SS 2004, Zugriff September 2008,
- Quirnbach, A. (2011): Analyse der Häufigkeit von Starkregen mit  $N \geq 20$  mm/d, dynaklim-Kompakt, Nr. 1, 6S.
- Schimpf, H. (1970): Untersuchung über das Auftreten beachtlicher Niederschläge in Österreich. – Österreichische Wasserwirtschaft , Jg. 22, Heft 5/6, 121-127
- Zolina, O., Simmer, C., Kapala, A., Bachner, S., Gulev, S. & Marchel, H. (2008): Seasonally dependent changes of precipitation extremes over Germany since 1950 from a very dense observational network. - *J. Geophys. Res.*, 113, D06110. <http://www.deutscher-wetterdienst.de>  
<http://info.infolands.de>  
<http://eca.knmi.nl>

## Starkregenepisode

Eine Starkregenepisode beschreibt ein mehrtägiges bzw. regionalbezogenes Starkregenereignis. [KARAGIANNIDIS et al. \(2009\)](#) definieren eine Starkregenepisode als Ereignis, wobei entweder am selben Tag an mindestens zwei Klimastationen im Umkreis von 550 km oder an zwei aufeinanderfolgenden Tagen an mindestens einer Station (dieselbe oder eine direkt benachbarte) jeweils eine Niederschlagsmenge von 60 mm/d zu verzeichnen ist.

Auf ([www.nachhaltigkeit.at](http://www.nachhaltigkeit.at)) wird eine ähnliche Definition verwendet, wobei die angesprochenen Ereignisse zwei bzw. vier Tage andauern. Als Niederschlagsmengen treten hierbei zwischen 100 mm und 200 mm pro Episode auf. Lokale Maxima können Werte von über 300 mm pro Episode erreichen.

### Quellen (Stand: 31.07.12)

- Karagiannidis, A., Karacostas, T., Maheras, P. & Makrogiannis, T. (2009): Trends and seasonality of extreme precipitation characteristics related to mid-latitude cyclones in Europe. - *Adv. Geosci.*, 20, 39–43. <http://www.nachhaltigkeit.at>

## Sturmtag

Ein Sturmtag ist ein Tag, an dem die maximale Windgeschwindigkeit 62 km/h bzw. 17,2 m/s (**Beaufort-Skala 8** = stürmischer Wind) überschreitet. Als Referenzwert dient das größte während des Tages auftretende 10-Minuten-Mittel ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)).

Ein Sturm in **Windstärke 8** kommt in Deutschland etwa zwanzig bis dreißig Tage im Jahr vor ([www.versicherung-in.de](http://www.versicherung-in.de)). Bei dieser Windstärke brechen Zweige ab und Dachziegel werden von den Häusern abgehoben. Bei der Schadensregulierung von Sturmschäden zahlen in der Regel Wohngebäude- und Hausratsversicherungen erst ab einer Windstärke 8. ([www.versicherung-in.de](http://www.versicherung-in.de)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.dwd.de>

<http://www.versicherung-in.de>

## Sturzflut

Von einer Sturzflut spricht man, wenn innerhalb von sechs Stunden nach einem starken Regenereignis oder einem Dammbbruch bzw. Durchbruch einer anderen Barriere plötzlich riesige Wassermengen über ein Gebiet hereinbrechen ([www.atmosphere.mpg.de](http://www.atmosphere.mpg.de)).

Sturzfluten können in zwei Gruppen klassifiziert werden: 1) Sturzfluten im Flachland und 2) Sturzfluten im Hügelland oder Mittelgebirge. Beide Typen unterscheiden sich in ihrer Strömungs- und Abflusscharakteristik ([www.buw-output.uni-wuppertal.de](http://www.buw-output.uni-wuppertal.de)). Bei einer Flachlandsturzflut kommt es zu Überlastungen lokaler Abwasser- und Entwässerungssysteme. Bei einer Gebirgssturzflut treten sehr hohe Fließgeschwindigkeiten auf. Von den Wassermassen werden große Mengen an Material transportiert, die zu enormen Ablagerungen führen und Abwasser- und Entwässerungssysteme verstopfen.

Eine Sturzflut trifft die Bevölkerung meist unvorbereitet. Auch in technisch gut ausgerüsteten Staaten kann nicht immer vor Ihnen gewarnt werden.

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.atmosphere.mpg.de>

<http://www.buw-output.uni-wuppertal.de>

## Temperaturanomalie

Im Bereich der Klimaforschung werden häufig Temperaturanomalien, also Abweichungen der Temperatur von langjährigen Temperatur-Mittelwerten berechnet, um ihre Variabilität zu untersuchen und zu veranschaulichen.

Eine Grundvoraussetzung für die Verwendung von Temperaturanomalien ist die Definition des Referenzsystems (Referenzzeitraum) und des Beobachtungssystems (Beobachtungszeitraum) ([www.klimabuero-polarmeer.de](http://www.klimabuero-polarmeer.de), [www.bfs.admin.ch](http://www.bfs.admin.ch)). Der Referenzzeitraum ist dabei der Zeitraum, dessen Messwerte als Norm zum Vergleich mit Messwerten aus einem anderen Zeitraum gelten sollen. Der Beobachtungszeitraum beschreibt dagegen den Zeitraum, für den es Fragestellungen zu beantworten gilt.

Für geothermische Fragestellungen rückt die Betrachtung von Temperaturfahnen im Grundwasser in den Vordergrund. Auch hierbei werden Temperaturabweichungen analysiert. Dazu vergleicht man Referenzwerte (unbeeinflusste Hintergrundwerte) und thermal beeinflusste Werte (RAUCH 1992).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

Rauch, W. (1992): Ausbreitung von Temperaturanomalien im Grundwasser. – Veröffentlichungen der Universität Innsbruck, 188: 135 S., 23 Beil.; Innsbruck  
<http://www.klimabuero-polarmeer.de/>  
<http://www.bfs.admin.ch>

## Temperatur-Feuchte, Index

Siehe „Hitze-Index“

## Temperatur, Index

PETERSON et al. (2001), FRICH et al. (2002) und das STARDEX-Consortium (STARDEX-Konsortium (EU-Projekt: Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions) (STARDEX (2005) stellten in ihren Arbeiten Indices-Sammlungen vor, die sich auf Temperaturen beziehen.

Tab.37: Ausgesuchte Indices mit Temperaturbezug

Abkürzung	Beschreibung	Benutzerfreundlicher Name	Einheit
txq90 <sup>1)</sup>	T <sub>max</sub> 90. Perzentil – die heißesten Tage pro Jahreszeit (10%)	Heisser Tag – Schwellenwert	
Tn90 <sup>2)</sup>	Anteil der Zeit mit T <sub>min</sub> >90. Perzentil der täglichen Minimaltemperatur		%
tnq10 <sup>1)</sup>	T <sub>min</sub> 90. Perzentil – die kältesten Nächte pro Jahreszeit (10%)	Kalte Nacht – Schwellenwert	
ETR <sup>2)</sup>	Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Temperaturlaufzeichnung innerhalb eines Kalenderjahres	Temperaturspektrum eines Kalenderjahres	K
tnfd <sup>1)</sup> , Fd <sup>2)</sup>	Anzahl der Frosttage (T <sub>min</sub> < 0°C)	Frosttage, Nicht anwendbar in den Tropen <sup>3)</sup>	d
CDD <sup>2)</sup>	Maximale Anzahl von aufeinanderfolgenden Trockentagen (N < 1 mm)	Länge der Trockenperiode potentieller Trockenindikator <sup>3)</sup>	d
txhw90 <sup>1)</sup>	Hitzewellen Dauer	Längste Hitzewelle	d
HWDI <sup>2)</sup>	Maximale Periode >5 aufeinanderfolgende Tage mit T <sub>max</sub> > 5°C über der täglichen T <sub>max</sub> -Normale von 1961-90	Heat Wave Duration Index, außerhalb der gemäßigten Zone begrenzt gültig <sup>3)</sup>	d
GSL <sup>2)</sup>	Periode der Tage mit T <sub>day</sub> > 5°C für >5 Tage und T <sub>day</sub> < 5°C für >5 Tage	Länge der Vegetationsperiode; nur gültig: gemäßigte Zone <sup>3)</sup>	d

<sup>1)</sup> STARDEX (2005), <sup>2)</sup> FRICH et al. (2002), <sup>3)</sup> PETERSON et al. (2001)

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

Frich, P., L. V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A. M. G. Klein Tank und T. Peterson (2002): Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. Climate Research 19: 193-212.

Peterson, T.C., Foland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A. & Plummer, N. (2001): Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs – 1998-2001, 143 S.  
STARDEX (2005): Downscaling Climate extremes. – STARDEX-report, 21 p.

## Testreferenzjahr

Ein Testreferenzjahr (TRY) ist ein speziell zusammengestellter Datensatz, der für technische Anwendungen, wie für Simulationen und Berechnungen von Heiz- und raumluftechnischen Anlagen oder des thermischen Verhaltens von Gebäuden von Planern und Ingenieuren, genutzt wird. Er enthält ausgewählte stündliche meteorologische Daten wie Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, direkte und diffuse Strahlung auf die horizontale Fläche, Sonnenscheindauer, Windrichtung und Windgeschwindigkeit ([www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at)). Diese sollen den mittleren typischen Witterungsverlauf der entsprechenden Region repräsentieren ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)). Als Vergleichsbasis für die Bewertung des typischen Witterungsverlaufs wurde der Zeitraum von 1988 bis 2007 gewählt, da in dieser Zeitspanne ein deutlicher Lufttemperaturanstieg zu beobachten war.

Deutschland ist in 15 TRY-Klimaregionen unterteilt, wobei jeweils eine Referenzstation einen entsprechenden TRY-Datensatz liefert. Um klimatischen Anforderungen an die Heiz-, Klimatisierungs- und Lüftungstechnik auch für längere Zeiträume berücksichtigen zu können, wurden zusätzlich Testreferenzjahre (Zukunfts-TRY) auf Basis von 5 regionalen Klimamodellen für den Zeitraum 2021 bis 2050 entwickelt ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.dwd.de>

<http://www.zamg.ac.at>

## Trockentag

Ein Trockentag bezeichnet einen Tag, an dem die Niederschlagshöhe von 1 mm ( $1 \text{ l/m}^2$ ) nicht überschritten wird ([KRAUSE 2010](#)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

Krause, A. (2010): Auswertung von Extremereignissen in der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen (-Wolfsburg), Nr. 3: Trockenperioden. – Werkstattbericht, Inst. f. Meteorologie und Klimatologie, Uni Hannover, 7 S.

## Trockentag, Index

Der Trockentage-Index (dry days index, CDD) betrachtet die maximale Anzahl von aufeinanderfolgenden Tagen ohne Niederschlag, d. h. typischerweise Tage mit einer Niederschlagsmenge  $< 1 \text{ mm/d}$  ([FRICH et al. 2002](#), [ALEXANDER et al. 2006](#), [TEBALDI et al. 2006](#)). Obwohl der CDD lediglich auf Basis von Niederschlagsmengen arbeitet, betrachtet er nicht ausschließlich die Auswirkungen [meteorologischer Dürren](#). Da Perioden ohne Niederschläge sich durch eine geringere Bewölkung auszeichnen, treten in dieser Zeit auch höherer Temperaturen auf, die zu positiven Anomalien bei den Evapotranspirationsraten führen können.

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Kumar, K. R., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M. & Vazquez-Aguirre, J.L. (2006): Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. - Journal of Geophysical Research – Atmospheres, 111, D05109.
- Frich, P., Alexander L. V., Della-Marta, P.M., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. M. G. & Peterson, T. 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. - Climate Research, 19(3), 193-212.
- Tebaldi, C., Hayhoe, K., Arblaster, J. M. & Meehl, G. A. (2006): Going to the extremes. An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. - Climatic Change, 79(3-4), 185-211.

## Trockenperiode

Der Begriff Trockenperiode ist nicht klar definiert. Es existieren keine einheitlichen Festlegungen, ab welcher Zeitraumlänge eine Trockenperiode beginnt bzw. ab welchen Niederschlagsmengen sie endet. Allgemein gilt nur, dass eine Trockenperiode dadurch gekennzeichnet ist, dass innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls die gefallene Niederschlagssumme einen vorgegebenen Wert nicht überschreitet. Dabei gilt es zu beachten, dass Trockenperioden nicht a priori niederschlagsfrei sind.

Prinzipiell werden die Auswirkungen einer Trockenperiode durch den Wasserbedarf gesteuert. In den Wintermonaten sorgen niedrige Luft- und Bodentemperaturen für verminderte Verdunstungsraten, so dass selbst minimale Niederschlagsmengen nicht zu den Auswirkungen einer Trockenperiode führen, wie sie im Sommer vorkommen. Zeitweise können auch hohe Grundwasserstände fehlende Niederschlagsmengen ausgleichen, bis die Charakteristika einer Trockenperiode zu erkennen sind.

### Meteorologische Definition

In humiden Gebieten spricht man von einer Trockenperiode, wenn während einer Zeitspanne von einem halben bzw. vollen Monat eine Niederschlagsmenge von 0,25 mm/Tag unterschritten wird (MANIAK 2005). Eine allgemeingültige Definition findet das European Climate Assessment & Dataset project ([eca.knmi.nl/](http://eca.knmi.nl/)). Hier wird die maximale Länge einer Trockenperiode als die maximale Anzahl von aufeinanderfolgenden Trockentagen mit einem jeweiligen Niederschlagswert <1 mm/Tag definiert.

Tab.38: Übersicht der Randbedingungen für Trockenperioden

Mindestlänge Trockenperiode	Niederschlagsmengen	Region	Quelle
Keine Mindestangabe	≤ 1,0 mm/d	universell	<a href="http://eca.knmi.nl">http://eca.knmi.nl</a>
6 Tage	= 0 mm/d	Bali	HEM (2002)
6 Tage	≤ 0,2 mm/d	Österreich	NOBILIS (1980)
11 Tage	≤ 1,0 mm/d	Deutschland	KLIWA (2006), BERNHOFER et al. (2005)
10 Tage	≤ 5,0 mm/d	Russland	HEM (2002)
10 Tage	≤ 1,0 mm/d	Sri Lanka	DE SILVA et al. (2006)
10 Tage	≤ 0,5 mm/d	Schweiz	GYALISTRAS (2000)
15 bzw. 30 Tage	≤ 0,25 mm/d	humide Gebiete	HEM (2002), MANIAK (2005)
Keine Mindestangabe	≤ 40 mm/mon	Deutschland	BECKER & SCHRÖTER (2001)

### Hydrologische Definition

Bei der hydrologischen Herangehensweise wird der NM7Q (niedrigster mittlerer Abfluss während sieben aufeinander folgender Tage) als Index für die Beurteilung der Trockenheit herangezogen. Dabei handelt es sich um ein sehr sensibles Maß, denn der definierte

Zeitraum muss in eine längere relative Trockenzeit eingebettet sein, damit kleine NM7Q-Werte erreicht werden ([www.occc.ch/reports/](http://www.occc.ch/reports/)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

- Becker, T. & Schröter H. (2001): Die Ausbreitung des Borkenkäferbefalls im Bereich von Sturmwurf Sukzessionsflächen. Eine Untersuchung in Sturmwurfbanwäldern Baden-Württembergs. – Berichte Freiburger Forstliche Forschung, Heft 26, 10 S.
- Bernhofer C, Goldberg V, Franke J (2005): REKLI II – Optimierung der Klimadatenbank REKLI für Auswertungen im Bereich der Wasserwirtschaft. Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben des Ministeriums für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt und der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (VertragNr.: 54/20202), 22 S.
- De Silva, R.P., Punyawardena, B.V.R & Chandralal (2006): Characterization of heavy rain and subsequent dry periods during the North-East monsoon in the dry zone of Sri Lanka. – J. Natn. Sci. Foundation Sri Lanka 2006 34(3): 159-161.
- Gyalistras, D. (2000): Trockenheit in der Schweiz: Trends im 20. Jahrhundert und Szenarien für die Zukunft. - Unterlagen zum OcCC/ProClim- Workshop vom 4. April 2000 in Bern.
- Heim, R. R., Jr. (2002): A review of twentieth-century drought indices used in the United States. - Bull. Am. Meteor. Soc. 83 (8), 1149–1165.
- KLIWA (2006): Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern. – KLIWA-Bericht 8, 95 S.
- Maniak, U. (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure. - 5. Aufl., Springer, Berlin, 666 S.
- Nobilis, F. (1980): Extreme Trockenperioden im Jahr in Österreich. Arch. Met. Geoph. Biokl., Set. B, 28, S. 339-349  
<http://eca.knmi.nl>  
<http://www.occc.ch/reports>

## Trockenwetterabfluss

Siehe „Abflussganglinie“

## Tropennacht, tropische Nacht

Unter einer Tropennacht versteht man in Zentraleuropa eine Nacht, in der die niedrigste Lufttemperatur in zwei Metern Höhe nicht unter 20°C fällt ([eca.knmi.nl](http://eca.knmi.nl)). Tropennächte gelten als besonders belastend für alte oder körperlich geschwächte Personen ([NORTH et al. 2007](#)). Sie treten in Mitteleuropa jedoch selten auf. Im Zuge der Zunahme von [Hitzewellen](#) ist ihre Zahl aber steigend.

In Deutschland werden an den meisten DWD-Stationen im Mittel weniger als eine Tropennacht pro Jahr ermittelt. Den Spitzenplatz belegt die Station Berlin-Alexanderplatz mit durchschnittlich 5 Tropennächten pro Jahr (<http://www.dwd.de>). Während des Hitzesommers 2003 wurden dort 10 verzeichnet ([DWD 2010](#)). Deutscher Spitzenreiter 2003 war jedoch Kehl bei Straßburg, mit 21 Tropennächten.

Vor allem in den Städten entstehen immer häufiger Tropennächte, die sich durch die Hitze am Tag entwickeln. Die in den Hausmauern und versiegelten Straßen gespeicherte Wärme wird bei fallender Lufttemperatur wieder abgegeben (Wärmeinseleffekt), wodurch in den Abendstunden die Temperaturen zum Teil noch über denen am Tag liegen können. Erst gegen vier Uhr morgens sinkt die Temperatur dann wirklich ab, bleibt aber über den 20°C.

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

- DWD (2010): Berlin im Klimawandel - Eine Untersuchung zum Bioklima. – Bericht Deutscher Wetterdienst, Abteilung Klima- und Umweltberatung 38 S.
- North N., Kljun N., Kasser F., Heldstab J., Maibach M., Reutimann J., Guyer M. (2007): Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Maßnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 0728. Bundesamt für Umwelt, Bern. 77 S.  
<http://www.dwd.de>  
<http://eca.knmi.nl>

## Tropentag

Tropentag ist eine alte Bezeichnung für „Heißer Tag“ oder „Hitzetag“.

## Überflutung, Oberflächen-

Von einer Oberflächenüberflutung spricht man, wenn Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser aus einem Entwässerungssystem entweichen bzw. wenn das Wasser nicht in das System abfließen kann. Dadurch muss das Wasser entweder auf der Oberfläche verbleiben oder es dringt von der Oberfläche in Gebäude ein (DIN 2008).

In der Versicherungswirtschaft hat sich statt Überflutung der Begriff **Überschwemmung** etabliert.

**Quellen** (Stand 28.10.13)

DIN 2008: DIN EN 752, Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden

## Überschwemmung

In der Versicherungswirtschaft wird in der Regel von einer Überschwemmung gesprochen, wenn a) ein **Hochwasser** zur Ausuferung von oberirdischen Gewässern führt oder b) erhebliche Niederschlagsmengen dazu führen, dass ein versichertes Grundstück größtenteils mit Wasser bedeckt ist ([www.versicherungsmagazin.de](http://www.versicherungsmagazin.de)). Hierbei ist weder eine bestimmte Wasserstandshöhe, noch eine vollständige **Überflutung** des Versicherungsgrundstücks erforderlich.

Unter bestimmten Bedingungen wird eine Überschwemmung auch als Ansammlung von Wasser auf Geländeoberflächen als unmittelbare Folge von außergewöhnlich hohem Wasserständen, Deichbruch, außergewöhnlich starken Niederschlägen oder außergewöhnlich starker Schneeschmelze, definiert. Unter außergewöhnlich versteht man hierbei ein Ereignis, welches einmal in fünf Jahren oder seltener auftritt. Die genaue Definition folgt den vereinbarten Versicherungsbedingungen und wird von Fall zu Fall unterschiedlich ausgelegt ([www.robbers-verlag.de](http://www.robbers-verlag.de)). Somit kann es sein, dass von den drei Ursachen einer Überschwemmung (Niederschläge, Ausuferung, Grundwasserzutritt) nur eine oder auch alle drei versichert sein können.

Über ZÜRS (Zonierungssystem für Überschwemmung, Rückstau und Starkregen) wird jedem Ort eine Überschwemmungszone zugewiesen. Die dort aufgeführten Zonen dienen zur Preisgestaltung und als Grundlage für die Beschreibung des Risikos, eine Überschwemmung zu erleiden.

**Quellen** (Stand 28.10.13)

<http://www.robbers-verlag.de>

<http://www.versicherungsmagazin.de>

## Vegetationsperiode

Generell definieren die Begriffe Vegetationsperiode, Vegetationszeit oder Wachstumszeit den Zeitabschnitt des Jahres, in dem die Pflanzen photosynthetisch aktiv sind. Eine einheitliche Definition der Vegetationsperiode auf Basis meteorologischer Parameter ist aufgrund der verschiedenen Klimaräume und der unterschiedlichen Sensibilität von Kulturarten kaum möglich.

Das Pflanzenwachstum wird durch eine Reihe von Umweltbedingungen und physiologischen Prozessen beeinflusst. In der gemäßigten Zone ist vor allem die Temperatur und Tageslänge geeignet, um die Entwicklungsphasen des Pflanzenwachstums hinreichend zu beschreiben (MENZEL 2002). Aber auch Trockenheit, Bodentemperatur oder Schneebedeckung können die Vegetationsperiode begrenzen. Zusätzlich spielen Frosttage bzw. die artenspezifische Kälteresistenz eine bedeutende Rolle (CARTER 1998, FRICH et al. 2002, MENZEL et al. 2003, WALTHER & LINDERHOLM 2006). Nach der Columbia Encyclopedia reicht die Vegetationsperiode oder auch frostfreie Periode vom letzten starken Spätfrost (killing frost) bis zum ersten starken Frühfrost im Herbst.

In Mitteleuropa dauert die Vegetationszeit von April bis Anfang Oktober (ca. 250 Tage), mit der Hauptvegetationsperiode von Mai bis Juli. Mit zunehmender Geländehöhe verkürzt sich die Vegetationsperiode. Im Bereich der Waldgrenze beträgt sie ca. 180 Tage (bfw.ac.at).

Aus phänologischer Sicht dauert die Vegetationszeit bei ein- und zweijährigen Pflanzen von der Keimung bis zum Absterben, bei Sträuchern und Bäumen vom Austreiben bis zum Blattfall und bei immergrünen Pflanzen von Beginn bis Stillstand des aktiven Wachstums. In den Tropen besteht keine jahreszeitliche Einschränkung der Vegetationszeit, hier beeinflusst vielmehr der Wechsel zwischen Regen- und Trockenperioden das Vegetationswachstum.

## Verwendung von Temperaturschwellenwerten

Als Beginn der Wachstumszeit wird im Allgemeinen der Abschnitt des Jahres definiert, in dem das Tagesmittel der Lufttemperatur an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen eine Mindesttemperatur überschreitet (vgl. Tabelle). Die weite Verbreitung des 5°C - 5 Tages-Kriteriums sowie der leicht abgewandelten Varianten liegt vor allem an der relativ leichten Verfügbarkeit langer Zeitreihen von Temperaturbeobachtungen und der einfachen und zeit-effizienten Verarbeitung.

Das Ende der Vegetationsperiode ist schwieriger zu erfassen, da bis zum Herbst die Genauigkeit der phänologischen Stadien stetig abnimmt, was deren Analyse erschwert (SPARKS & MENZEL 2002). Da viele Vorgänge zeitverzögert ablaufen, ist der Einsatz von Temperaturschwellenwerten deutlich limitiert. Zudem können massive Frostereignisse frühzeitig zur Stagnation des Wachstums führen und damit den Beginn der Ruhephase markieren. Allerdings ist es problematisch für Bereiche mit großer Artenvielfalt, die Temperatur für einen „killing frost“ anzusetzen (BRINKMANN 1979). Als einfacher Ansatz wird das Ende der Vegetationsperiode als der Abschnitt des Jahres definiert, in dem das Tagesmittel der Lufttemperatur an fünf aufeinanderfolgenden Tagen die Tagesmitteltemperatur von 5 °C unterschreitet. Allerdings benötigen die meisten Nutzpflanzen, *zonalen Laubwälder* sowie Steppen- und Halbwüstenpflanzen jedoch mindestens eine Temperatur von 10°C. Prinzipiell ist aber die Temperatur von größerem Interesse, bei der die Pflanzen mit dem Keimen beginnen. Diese ist kulturabhängig, wie folgende gemittelten Werte zeigen: Weizen 5°C, Mais 10°C, Reis 20°C ([www.britannica.com](http://www.britannica.com)).

Tab.39: Übersicht der Randbedingungen für Vegetationsperioden

Vegetationsperiode, Beginn		
aufeinanderfolgende Tage	Temperaturschwellenwert	Quelle und Anmerkungen
5	>5°C	FORMAYER et al. (2007)
	>5,5°C	UKCIP ( <a href="http://www.ukcip.org.uk">http://www.ukcip.org.uk</a> )
6	>5°C	KNMI; Growing season length (GSL): <a href="http://eca.knmi.nl">http://eca.knmi.nl</a>
7	>5°C	FRANKE et al. (2007)
Vegetationsperiode, Ende		
aufeinanderfolgende Tage	Temperaturschwellenwert	Quelle und Anmerkungen
5	<5 °C	FORMAYER et al. (2007)
	<5,5°C	UKCIP ( <a href="http://www.ukcip.org.uk">http://www.ukcip.org.uk</a> )
6	<5 °C	KNMI: Growing season length (GSL): <a href="http://eca.knmi.nl">http://eca.knmi.nl</a> , gültig für Ereignisse nach dem 1. Juli
7	<10 °C	FRANKE et al. (2007)

Neben den 5°C - 5 Tages-Ansätzen finden sich in der Literatur auch komplexere Vorgehensweisen, die nachfolgend beispielhaft beschrieben werden:

### Verwendung von Teil- und Kernperioden

Eine komplexere Vorgehensweise unterteilt die Temperatursituation während der Wachstumszeit in Teil- und Kernperioden (WAKONIGG et al. 2007). Der Beginn der Vegetationsperiode wird dann festgesetzt, wenn eine warme Teilperiode mehr Tage besitzt, als die Summe der Tage aller kalten Teilperioden vor der Kernperiode. Bei der Bestimmung des Endes der Vegetationsperiode werden die erforderlichen Kriterien umgekehrt. Für die räumliche Modellierung der Vegetationsperioden für Österreich wurde eine Kern-Vegetationsperiode betrachtet, in der sich die Temperatur ständig über 5°C befindet. Zusätzlich wurden die jeweiligen Teilperioden bis Anfang März und Ende November berücksichtigt, wo sich „warme“ Teilperioden (über 5°C) und „kalte“ (unter 5°C) abwechseln (LFZ RAUMBERG-GUMPENSTEIN 2011),

Die Stärke des Verfahrens liegt in der genaueren räumlichen Beschreibung des Vegetationsbeginns insbesondere in Berggebieten (LFZ RAUMBERG-GUMPENSTEIN 2011).

### Kombinierte Kriterienansätze

Um möglichst viele Ausnahmesituationen berücksichtigen zu können, sind kombinierte Kriterienansätze sinnvoll. Hierbei werden häufig Tagesmittel mit Tagesmindesttemperaturen kombiniert (MENZEL et al. 2003). Nachfolgend werden einige Ansätze beschrieben, die auf kombinierten Lösungsansätzen basieren:

### Methode des Lehr- und Forschungszentrums Raumberg-Gumpenstein

Zur Bestimmung des Vegetationsbeginns wird ein Zeitraum von sechs Tagen betrachtet. Als Kriterium muss die Durchschnittstemperatur innerhalb dieses Zeitraumes über 5°C betragen, wobei an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen die Tagesmitteltemperatur 5 °C übersteigen muss. Zusätzlich darf innerhalb dieser Periode kein Frostereignis stattfinden, d. h. die Tagesmitteltemperatur darf 2°C nicht unterschreiten (LFZ RAUMBERG-GUMPENSTEIN 2011).

Für die Ermittlung des Endes der Vegetationsperiode wird in Anlehnung an CARTER (1998) ein Zeitraum von 10 Tagen untersucht. Dazu werden folgende Kriterien verwendet: Innerhalb des Zeitraums muss die Durchschnittstemperatur unter 5°C liegen, davon mindestens 4 Tage unter 5°C und es muss ein massives Frostereignis mit einer Tagesmindesttemperatur von unter -2°C auftreten.

Die Ergebnisse des Kombinierten Kriterien-Ansatzes liegen, abgesehen von kleinen Abweichungen, etwa in der Mitte zwischen der einfachen 5°C -5 Tages-Methode, die häufig einen zu frühen Beginn liefert und dem Teil-Kern-Perioden-Ansatz, der einen zu späten Zeitpunkt berechnet. Sie stellen damit einen guten Kompromiss dar, bei dem auch die Topographie eine ausführliche Berücksichtigung findet ([LFZ RAUMBERG-GUMPENSTEIN 2011](#)).

### **Methodenach VON WILPERT**

Bei seinen Arbeiten in Südwestdeutschland charakterisierte [VON WILPERT \(1990\)](#) die Wachstumsperiode der Holzteile (*Xylem*) von Fichtenbeständen. Dazu verwendete er Witterungsdaten, Messungen der Bodenfeuchte, die zeitliche Entwicklung des Baumdurchmessers und der Holzteile. Darüber hinaus ist die Lufttemperatur das Hauptkriterium. Um kurzfristige Temperaturschwankungen außerhalb der Vegetationsperiode zu berücksichtigen, wurde von ihm eine gleitende Mitteltemperatur von sieben Tagen gewählt.

Für den Beginn der Vegetationsperiode werden drei Bedingungen formuliert:

d1 = Tag an dem das gleitende 7-Tagesmittel der Lufttemperatur zum ersten Mal 10°C überschreitet.

d2 = Tag an dem das gleitende 7-Tagesmittel der Lufttemperatur zum ersten Mal für mindestens 5 Tage 10°C überschreitet.

d3 = Beginnender Austrieb des neuen Nadeljahrgangs (=Maitrieb) aus periodisch wiederkehrenden Entwicklungsstadien der Pflanzen (DWD-Datenbank).

Für das Ende der Vegetationszeit sind ebenfalls drei Bedingungen formuliert:

#### Temperaturkriterium:

Das Kriterium ist erfüllt, wenn das gleitende 7-Tagesmittel der Lufttemperatur die 10°C unterschreitet. Es ist jedoch reversibel, d. h. wenn die Temperatur anschließend wieder höher liegt, kann das *Xylemwachstum* fortgesetzt werden. Ausnahme: eines der beiden anderen Kriterien zur Beendigung der Vegetationszeit ist bereits erfüllt.

#### Trockenheitskriterium:

Wenn der Mittelwert der *Bodenmatrixpotentiale* in 15 cm, 30 cm und 60 cm Tiefe den Wert -1100 hPa für mindestens 5 Tage unterschreitet, geht man davon aus, dass das Wachstum der Jahresringe trockenheitsbedingt eingestellt wird. Dieses reversible Kriterium wird erst nach dem 15. Juli (= Tag 196) zugelassen, da ein trockenheitsbedingtes Beenden des Wachstums erst gegen Ende der Vegetationszeit wahrscheinlich ist ([KRAMER & KOZLOWSKI 1979](#)).

#### Kurztagkriterium:

Dieses Kriterium bezieht sich auf den Tag, an dem das *Xylemwachstum* bei optimalen Bedingungen aufgrund der Tageslänge eingestellt wird. [VON WILPERT \(1990\)](#) verwendete dazu den 5. Oktober (= Tag 279). Für Übertragungen auf Standorte außerhalb Südwestdeutschlands müssen möglicherweise Anpassungen vorgenommen werden.

Da häufig das *Bodenmatrixpotential* nicht zur Verfügung steht, wird das Ende der Vegetationsperiode häufig nur nach dem Temperatur- und Kurztagkriterium berechnet.

### **Methodenach Morén & Perttu**

Die Definition nach [MORÉN & PERTTU \(1994\)](#) ist ein einfaches Verfahren und wurde in Schweden entwickelt. Es berücksichtigt ausschließlich die Über- und Unterschreitung bestimmter Schwellenwerte. Als Grundparameter wird der gleitende 5-Tagesmittelwert herangezogen. Als Grenzwerte (S) dienen die 5°C -, 6°C -, 8°C - und 10°C-Schwelle. Die entsprechende Vegetationszeit beginnt, wenn der Mittelwert der Lufttemperatur zum ersten Mal über dem jeweiligen Schwellenwert liegt. Wenn der gleitende Mittelwert der Lufttem-

peratur das erste Mal unter dem Schwellenwert liegt, endet die jeweilige Vegetationsperiode.

#### **Methodenach ZIMMERMANN**

Die Definition des Beginns der Vegetationszeit von ZIMMERMANN (1995) ist an die Vorgehensweise von VON WILPERT (1990) angelehnt. Es verzichtet allerdings auf den Zeitpunkt, an dem der Austrieb des neuen Nadeljahrgangs startet, um den Beginn der Vegetationsperiode zu ermitteln. Die Methode wurde im Rahmen des ARINUS-Projektes (Auswirkungen von Restabilisierungsmaßnahmen und Immissionen auf den N- und S-Haushalt der Öko- und Hydrosphäre von Schwarzwaldstandorten) entwickelt.

#### **Modellierung von Frühjahrsphasen**

In der Literatur finden sich verschiedene Modelle, die zur Nachbildung periodisch wiederkehrender Entwicklungsphasen im Frühling verwendet werden. Nachfolgend werden drei Modellansätze vorgestellt:

#### **Modell von CANNELL & SMITH**

Das Modell von CANNELL & SMITH (1983) geht von festen Temperaturschwellen für Kältetage bzw. für den Wärmereiz (jeweils 5°C) aus. Je nach Pflanzenart und Entwicklungsstand enthält das Modell Koeffizienten zur weiteren Berechnung. Ermittelt werden die sogenannten „Kältetage“, d. h. die Tage, die sich unter einer artspezifischen Kälteschwelle befinden, und die „kritische“ Wärmesumme, die notwendig ist, um eine phänologische Phase zu überschreiten.

#### **Modell LNVAR**

Das Modell LNVAR (MENZEL 1997) ist eine Erweiterung des Modells von CANNELL & SMITH (1983). Als Grundlage wird die Tagesmitteltemperatur verwendet, die aus den Tagesminimum- und -maximumwerten arithmetisch gemittelt werden. Die weitere Berechnung folgt dem Modellansatz von CANNELL & SMITH (1983).

#### **Modell von KRAMER**

Das sequentielle Modell nach KRAMER (1994) basiert auf dem Modellansatz von HÄNNINEN (1990). Grundlage hierbei ist die strikte Trennung der Winterruhe in Phasen der endogenen und exogenen Entwicklungsverzögerung (Dormanz). Während die endogene Dormanz durch fehlende Wachstumsstoffe bzw. durch Hemmstoffe pflanzenkontrolliert ist, sind für die exogene Dormanz ausschließlich Umweltfaktoren wie die Wasserverfügbarkeit ausschlaggebend ([www.wissenschaft-online.de](http://www.wissenschaft-online.de)). In den verwendeten Gleichungssystemen werden der Kälte- und Wärmereiz, die Kälte- bzw. Wärmesumme sowie die Tagesmitteltemperatur berücksichtigt. Die kritische Kältesumme spielt hierbei eine wichtige Rolle für die endogene Dormanz, da diese Schwelle erst zu überwinden ist, damit die Pflanze aufgrund physiologischer Bedingungen auf Wärme überhaupt reagiert.

#### **Quellen** (Stand: 31.07.12)

- Brinkmann, W. A. R. (1979): Growing season length as an indicator of climatic variations? *Climatic Change*, **2** (2), 127-138.
- Cannell, M. G. R. & Smith, R. L. (1983): Thermal time, chill days and prediction of budburst in *Picea sitchensis*. – *Journal of Applied Ecology*, **20**, 951-963
- Carter, T. R. (1998): Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. – *Agricultural and Food Science in Finland*, **7** (2), 161-179.
- Formayer, H., Haas, P., Hofstätter, M., Radanovics, S. & Kromp-Kolb, H. (2007): Räumlich und zeitlich hochaufgelöste Temperaturszenarien für Wien und ausgewählte Analysen bezüglich Adaptionsstrategien. – BOKU-Met Bericht, 82 S.
- Franke, J., Surke, M. & Langrock, M. (2007): Handbuch zur „Klimadatenbank Mitteleuropa“
- Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. M. G. & Peterson, T. (2002): Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. – *Climate Research*, **19**, 193-212

- Hänninen, H. (1990): Modelling bud dormancy release in trees fro cool and temperate regions. – Acta Forestalia Fennica 213, 1-47.
- Kramer, K. (1994): Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus sylvatica*. - J. Appl. Ecol. 31, 172-181.
- Kramer, P. J. & Kozlowski T. T. (1979): Physiology of woody plants. - New York: Academic Press. 811 p.
- LFZ Raumberg-Gumpenstein (2011) [Hrsg.]: Räumliche Modellierung der thermischen Vegetationsperiode für Österreich-Abschlussbericht ThermVeg, 53 S.
- Menzel, A. (1997): Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen – Auswertung der Beobachtungen in den Internationalen Phänologischen Gärten und Möglichkeiten der Modellierung von Phänodaten. - Forstliche Forschungsberichte München, 164, 147 S.
- Menzel, A. (2002): Phenology: Its Importance to the Global Change Community. - Climatic Change, **54** (4), 379-385.
- Menzel, A., Jakobi, G., Ahas, R., Scheifinger, H. & Estrella, N. (2003): Variations of the climatological growing season (1951-2000) in Germany compared with other countries. - International Journal of Climatology, **23** (7), 793-812.
- Morén, A.-S. & Perttu, K. (1994): Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land. – Studia Forestalia Suecica 194, 19 pp.
- Sparks, T. H. & Menzel, A. (2002): Observed changes in seasons: an overview. - International Journal of Climatology, **22** (14), 1715-1725.
- Wakonigg, H., Hawranek, V., Podesser, A. & Rieder, H. (2007): Klimaatlas Steiermark: Kapitel 2 - Temperatur. - Klimaatlas Steiermark Version 2.0, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Graz, 145 S.
- Walther, A. & Linderholm, H. W. (2006): A comparison of growing season indices for the Greater Baltic Area. - International Journal of Biometeorology, **51** (2), 107-118.
- von Wilpert, K. (1990): Die Jahrringstruktur von Fichten in Abhängigkeit vom Bodenwasserhaushalt auf Pseudogley und Parabraunerde. Ein Methodenkonzept zur Erfassung standortsspezifischer Wasserstreßdisposition. – Freiburger Bodenk. Abh., 24, 184.
- Zimmermann, L. (1995): Der Bodenwasserhaushalt an einem Hochlagenstandort im Südschwarzwald. – Freiburger Bodenkundl. Abh. **35**, 206 S.
- <http://bfw.ac.at>
- <http://www.britannica.com/>
- <http://eca.knmi.nl/>
- <http://www.ukcip.org.uk>
- <http://www.wissenschaft-online.de>

## Verdunstung

Als Verdunstung bezeichnet man den Übergang von Flüssigkeiten in die Gasform bei Temperaturen unterhalb des Siedepunktes. Die Verdunstung von der unbewachsenen, mehr oder weniger feuchten Erdoberfläche oder von freien Wasserflächen wird als **Evaporation** bezeichnet. Die Verdunstung von Pflanzen über die Spaltöffnungen (Stromata) nennt man **Transpiration**. Da die Effekte beider Prozesse zusammen auftreten und eine Trennung der Vorgänge nur schwer möglich ist, wird üblicherweise ihre Summe, die **Evapotranspiration** betrachtet. Eine Sonderform der Verdunstung ist die Interzeption. Unter ihr versteht man das Abfangen bzw. Zurückhalten von Niederschlägen auf der Blatt- bzw. Nadeloberfläche. In Pflanzenbeständen gelangen die so zurückgehaltenen Niederschläge entweder als Stammabfluss bzw. mit dem Kronendurchlass auf den Boden, oder sie verdunsten.

Die maximal mögliche Verdunstung unter den jeweiligen meteorologischen Bedingungen nennt man **potentielle Evapotranspiration** ( $ET_{Pot}$ ). Bei der tatsächlichen Verdunstung, die vom jeweiligen Wasserdargebot abhängt, spricht man von **reeller, aktueller bzw. tatsächlicher Evapotranspiration** ( $ET_{akt}$ ). Diese lässt sich nur durch Messungen ermitteln.

Prinzipiell ist die Verdunstung von Landflächen aufgrund der unregelmäßigen Oberfläche sowie unterschiedlicher Temperaturen und Bodenwassergehalte sehr viele komplizierter zu behandeln, als die Verdunstung von Wasseroberflächen.

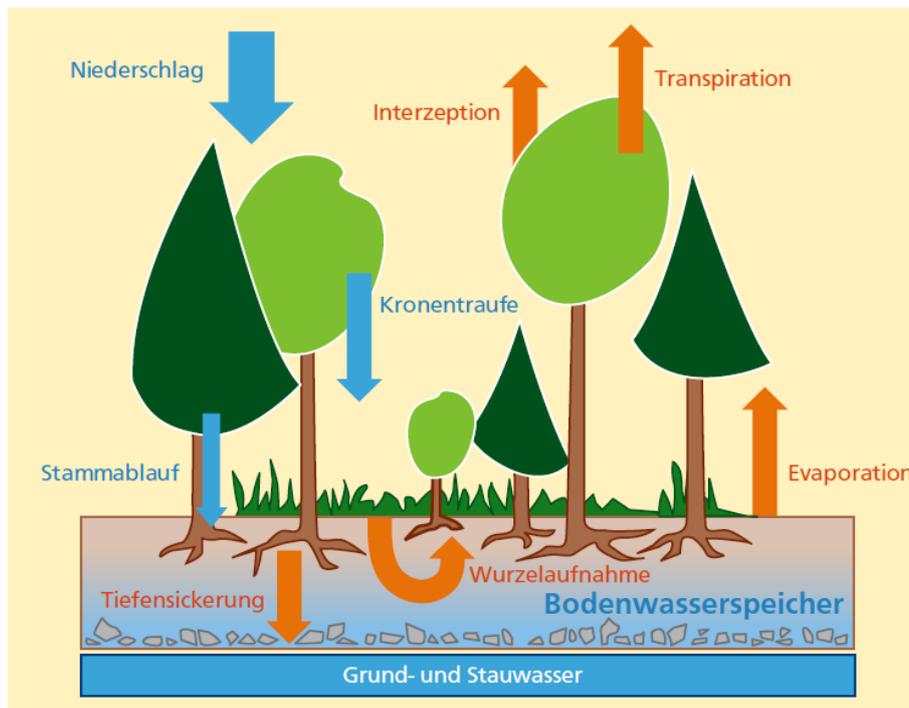


Abb.5: Komponenten des Wasserhaushalts von Wäldern (ZIMMERMANN et al. 2008)

## Potentielle Evapotranspiration

In Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse, den Ansprüchen an die Genauigkeit und der Datengrundlage kommen verschiedene Methoden zur Verdunstungsberechnung zum Einsatz. Der aus Klimadaten berechnete Wert für die potentielle Evapotranspiration ( $ET_{pot}$ ) stellt einen Näherungswert für die maximale Verdunstung bewachsener Landflächen dar. In Zeiten starker Regenfälle und einer damit verbundenen hohen Bodenfeuchte sind  $ET_{pot}$  und  $ET_{akt}$  gleichzusetzen.

Die meisten Methoden beziehen sich auf eine niedrige Grasfläche, die das ganze Jahr als vorhanden angenommen wird. Landwirtschaftliche Flächen, die sich durch Fruchtfolge und Brachen auszeichnen, werden mit bestimmten Bestandskoeffizienten berücksichtigt. Detaillierte Formeln sind im [Anhang 2](#) aufgeführt. Nachfolgend werden ausgesuchte Verfahren kurz vorgestellt:

### Verfahren nach BLANEY-CRIDDLE

Dieser Berechnungsansatz von [BLANEY-CRIDDLE \(1950\)](#) gehört zu den einfachen empirischen Verfahren und wird häufig in der Bewässerungsberatung eingesetzt. Die Formel gehört heute noch zu den am weitesten verbreiteten Ansätzen. Ähnlich wie beim Verfahren nach TURC werden negative Werte gleich 0 gesetzt. Das Verfahren liefert im Allgemeinen zu hohe Werte. Für Deutschland wird die von [SCHRÖDTER \(1985\)](#) angepasste Formel empfohlen.

### Verfahren nach HAMON

Das Verfahren nach HAMON ([HAMON 1961](#)) ist ein einfacher Ansatz, um die potentielle Evapotranspiration anhand der Lufttemperatur und der Sonnenscheindauer abzuschätzen.

### Verfahren nach HAUDE

In Deutschland veröffentlichte zuerst [HAUDE \(1954\)](#) ein Verfahren zur Berechnung der monatlichen potentiellen Evapotranspiration. Dieses Verfahren besitzt den Vorteil, dass zur

Anwendung nur die tägliche Lufttemperatur und relative Luftfeuchte notwendig sind. Für die Betrachtung einzelner Tage liefert dieses Verfahren jedoch zu ungenaue Ergebnisse. Der empirisch gewonnene HAUDE-Faktor lässt Wassermangel unberücksichtigt, da er sich auf einen niedrigen Grasbewuchs mit hohem Grundwasserspiegel bezieht.

Im Vergleich zu Lysimeterdaten liefert diese Berechnung in Trockenjahren um 30% höhere und in Nassjahren um 10% niedrigere Werte (BEINHAUER 1998). An Tagen mit hoher Luftfeuchtigkeit oder in Küstengebieten kommt es zu einer Unterschätzung der  $ET_{Pot}$ .

Es existieren in der Literatur viele Pflanzenfaktoren für die unterschiedlichsten Landnutzungsarten (HAUDE 1954, ERNSTBERGER 1987, VDI 1990, LÖPMEIER 1994, DVWK 1996).

#### **Verfahren nach LINACRE**

Das Verfahren nach LINACRE (LINACRE 1977) stellt eine Vereinfachung der PENMAN-Formel für gut bewässerte Vegetationsflächen und einer Albedo von 0,25 dar.

#### **Verfahren nach MAKKINK**

Das von MAKKINK (1957) entwickelte Verfahren stammt aus den Niederlanden und stellt eine Vereinfachung der PENMAN-Beziehung dar. Empirische Faktoren liegen für die Niederlande und Europa vor.

#### **Verfahren nach OUDIN**

Das Verfahren nach OUDIN (OUDIN et al. 2005) ist ein einfaches Verfahren, das auf einer vergleichenden Studie 25 bestehender Verdunstungsformulierungen, die in über 300 Einzugsgebieten angewendet wurden, beruht.

#### **Verfahren nach PENMAN**

Dieser halbempirische Ansatz wird häufig angewendet, da er auf meteorologische Routine-messdaten zurückgreift und an verschiedene örtliche Standortbedingungen angepasst werden kann (PENMAN 1956). Die aus Energiebilanzen und aerodynamischen Verfahren abgeleitete Kombinationsgleichung gilt für stets feuchte, bewachsene Landflächen.

#### **Verfahren nach ROMANENKO**

Das Verfahren nach ROMANENKO (ROMANENKO 1961) ist eine einfacher empirischer Ansatz, um die potentielle Evapotranspiration anhand der Lufttemperatur und der relativen Feuchtigkeit abzuschätzen.

#### **Verfahren nach THORNTHWAITE**

Dieses Verfahren basiert auf empirischen Beziehungen zwischen  $ET_{Pot}$  und der Lufttemperatur (THORNTHWAITE 1948). Dieses international weit verbreitete Verfahren ist jedoch nur für großräumige Abschätzungen von Monatssummen zu empfehlen. Für Deutschland liefert das Verfahren keine realistischen Werte. Generell werden für Mitteleuropa zu hohe  $ET_{Pot}$ -Werte berechnet.

#### **Verfahren nach TURC**

Das Verfahren von TURC (1961) wurde ursprünglich für Frankreich und Nordafrika entwickelt. Aus langjährigen Messwerten ergaben sich im östlichen Teil Deutschlands hohe Korrelationen, allerdings mit etwas zu niedrigen Werten im Frühjahr, so dass eine Korrektur notwendig ist. Aus Wasserhaushaltsberechnungen und Vergleichen mit dem Verfahren nach PENMAN ergab sich für Jahressummen in Deutschland ein Korrekturfaktor von ca. 1,1 (DVWK 1996).

### Verfahren nach TURC-IVANOV

Da die TURC-Formel nur für positive Werte gültig ist, wurde sie durch die modifizierte Ivanov-Formel ergänzt (WENDLING & MÜLLER 1984). In KLIWA (2008) wurde das Verfahren mit einer Temperaturdifferenzierung angewendet. Wird das TURC-IVANOV-Verfahren auf deutsche Klimaverhältnisse bezogen, müssen die ermittelten Werte mit dem Faktor 1,1 korrigiert werden.

### Verfahren nach TURC-WENDLING

Dieses Verfahren stellt eine einfach zu verwendende Beziehung dar, mit der Tages- oder Monatswerte der  $ET_{Pot}$  berechnet werden können (WENDLING et al. 1991). Hierbei kann ebenfalls ein Küstenfaktor mitberücksichtigt werden.

## Spezielle Verdunstungsbetrachtungen

### Schneeverdunstung

Umfangreiche Beobachtungen und Berechnungen der Schneeverdunstung im Alpengebiet der Schweiz hat DE QUERVAIN (1951) zusammengestellt. Danach hängt die Schneeverdunstung von einer Vielzahl von Einflussgrößen ab, insbesondere von der Lufttemperatur sowie der Sonnen- und Schattenlage.

Tab.40: Richtwerte mittlere tägliche Schneeverdunstung, Deutschland (nach RACHNER 1999)

Monat	$E_{S, \text{mittl}}$ [mm/d]	$E_{S, \text{mittl}}$ [mm/mon]	Monat	$E_{S, \text{mittl}}$ [mm/d]	$E_{S, \text{mittl}}$ [mm/mon]
Januar	0,05	1,6	Juli	0,35	10,8
Februar	0,15	4,2	August	0,30	9,3
März	0,30	9,3	September	0,20	6,0
April	0,30	9,0	Oktober	0,10	3,1
Mai	0,30	9,3	November	0,05	1,5
Juni	0,35	10,5	Dezember	0,01	0,3

### Verdunstung freier Wasserflächen

Für die Verdunstung von freien Wasserflächen (Seen, Stauseen, Flüssen, Kanälen) wurde von RICHTER (1997) eine empirische Beziehung abgeleitet. Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass die Verdunstung natürlicher, oberirdischer Gewässer durch thermische Belastung (Einleitung von Kühlwasser) beträchtlich erhöht werden kann. Für freie, ruhende Wasseroberflächen kann die Verdunstung direkt berechnet werden.

### Verfahren nach MCNAUGHTON & BLACK

Das Verfahren von MCNAUGHTON & BLACK (1973) wurde für Douglasien-Standorte entwickelt. Es basiert auf der Messung latenter Wärmeströme bei Standorten mit wassergesättigten Böden.

### Verfahren nach PRIESTLEY-TAYLOR

Das Verfahren nach PRIESTLEY-TAYLOR (1972) basiert auf einer großen Anzahl von Evaporationsmessungen über Wasseroberflächen. Es stellt eine Modifikation des PENMAN-Ansatzes dar, für den jedoch weniger umfangreiche Messungen erforderlich sind. Mit diesem Verfahren sind Berechnungen unter Bedingungen möglich, wo die Evapotranspiration von der Bodenwasserversorgung limitiert wird. Das Verfahren wurde von FLINT & CHILDS (1991)

für verschiedene Oberflächen modifiziert. Dabei spiegelt der [PRIESTLEY-TAYLOR](#)-Koeffizient das Verhältnis zwischen der aktuellen Evaporationsraten und Evaporationsraten in einem Gleichgewichtszustand wider.

## **Aktuelle Evapotranspiration**

### **Verfahren nach PENMAN-MONTHEITH**

[MONTHEITH \(1965\)](#) modifizierte den klassischen PENMAN-Ansatz, um die aktuelle Evapotranspiration  $ET_{akt}$  eines Systems Boden-Pflanze-Atmosphäre berechnen zu können. Zusätzlich zu den jeweiligen meteorologischen Bedingungen werden zwei Verdunstungswiderstände (pflanzenspezifischer aerodynamischer Widerstand und der mittlere Stomataviderstand des Bestandes) eingeführt ([ZENKER 2003](#)). Dieser Berechnungsansatz stellt eine der ausgereiftesten Methoden dar und findet eine weitverbreitete Anwendung ([ALLEN 1986](#)). Er bildet die Grundlagen vieler weiterer Ansätze wie etwa zur Entwicklung der Gras-Referenzverdunstung der FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) ([ALLEN et al 1989](#)).

### **FAO-Gras-Referenzverdunstung**

Um eine vergleichbare Referenzverdunstung berechnen zu können, empfahl die FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations) die Einführung einer international standardisierten Referenzoberfläche. Die in [ALLEN et al. \(1994\)](#) beschriebene Gras-Referenzverdunstung basiert auf der PENMAN-MONTHEITH-Beziehung.

Als Referenzoberfläche wurde eine kurze dichte Grasdecke mit 0,12 m Wuchshöhe und ausreichender Wasserversorgung gewählt. Weitere Randbedingungen: Bestandswiderstand  $r_{ms} = 70$  s/m, aerodynamischer Widerstand:  $r_a = 208/v$  s/m (mit  $v_{m2}$  = Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe) und **Albedo**:  $\alpha = 0,23$ .

Mit Hilfe von Vegetationskoeffizienten  $k_c$  kann die Evapotranspiration von Landflächen mit davon abweichender Vegetation abgeleitet werden. Die Werte der aktuellen Evapotranspiration können auf diesen Flächen sowohl oberhalb als auch unterhalb der Gras-Referenzverdunstung liegen. Generell weisen Pflanzenbestände mit großem Blattflächenindex höhere Werte bzw. kurze Grasflächen ohne ausreichende Wasserversorgung geringere Werte als die Gras-Referenzverdunstung auf.

### **Methode nach RENGER & WESSOLEK**

Zur Ermittlung der aktuellen Verdunstung bewachsener Flächen wurde von [RENGER & WESSOLEK \(1990\)](#) ein Verfahren für ebene Standorte und Böden auf Lockergesteinen ausgearbeitet. Es gilt unter der Annahme, dass der Boden im Frühjahr auf *Feldkapazität* aufgefüllt ist, d.h. er kann noch bis zu 3 Tage das Wasser gegen die Schwerkraft halten. In diesem Zustand ist in den Grob- und Makroporen des Bodens noch Luft enthalten ([DVWK 1990](#)).

### **Verfahren nach WENDLING**

Das Verfahren nach WENDLING ([WENDLING et al. 1984](#)) wurde für agrarmeteorologische Beratungen entwickelt. Mit ihm erhält man als Ergebnis die Tageswerte der aktuellen Evapotranspiration. Bei der Berechnung einer bewachsenen Fläche am Tag geht der jeweilige Bodenwasservorrat der effektiven Wurzelzone in die Berechnung mit ein.

## Evaporation, Boden

Die Bodenevaporation betrachtet die Verdunstung von der mehr oder weniger feuchten Bodenoberfläche. Sie hat den niedrigsten Anteil an der Gesamtverdunstung und wird durch die verfügbare Energie, die Vegetation sowie die Durchlässigkeit und den Wassergehalt des Bodens gesteuert. Nachfolgend sind drei Berechnungsansätze aufgeführt

### Ansatz von BELMANS

BELMANS et al. (1983) berechnen die potentielle Evaporation  $EV_{Pot}$  als Anteil der potentiellen Gesamtverdunstung in Abhängigkeit vom Blattflächenindex BFI.

### Ansatz von BLACK

BLACK et al. (1969) entwickelten eine auf Lysimetermessungen basierende empirische Formel zur Abschätzung der aktuellen Bodenevaporation. Dabei geht die Dauer der zurückliegenden niederschlagsfreien Periode in die Betrachtung mit ein.

### Ansatz von RITCHIE

Zur Bestimmung der potentiellen Evaporation gibt RITCHIE (1972) eine Gleichung an, die teilweise aus der Energiebilanzierung abgeleitet wurde.

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

- ALLEN, R.G. (1986): A Penman for all Seasons. – Journal Irrigation and Drainage Division, ASCE, 112,348-369
- ALLEN, R.G., SMITH, M., PERRIER, A. & PEREIRA, L.S. (1994): An Update for Definition of Reference Evapotranspiration. ICID Bulletin 43, 2, 1-34.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D. & SMITH, M. (1998): Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56, 300 S.
- BEINHAUER, R. (1998): Flächenhafte potentielle Verdunstung nach Haude für Norddeutschland. Meteorologische Rundschau, 41 (1), 24-31.
- BELMANS, C., J.G. WESSELING AND R.A. FEDDES (1983): Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE. J. Hydrol. 63: 271-286.
- BLACK, T.A., GARDNER, W.R., THURTELL, G.W. (1969): The prediction of evaporation, drainage and soil water storage for a bare soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33, 655-660
- BLANEY, H.F. & W.D. CRIDDLE. (1950): Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data. USDA, SCS-TP-96, 50 p.
- DE QUERVAIN, M. (1951): Zur Verdunstung der Schneedecke. - Arch. Met. Geoph. Biokl., Bd. III, 47-64.
- DVWK (1990): Stand der Verdunstungsermittlung in der Bundesrepublik Deutschland. In: DVWK-Schriften, Heft 86, 1-77, Bonn.
- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. – DVWK-Merkblätter 238, 135 S.
- ERNSTBERGER, H. (1987): Einfluß der Landnutzung auf Verdunstung und Wasserbilanz: Bestimmung der aktuellen Evapotranspiration von unterschiedlich genutzten Standorten zur Ermittlung der Wasserbilanz in unteren Mittelgebirgslagen Hessens. - 189 S.; Kirchzarten
- FLINT, A.L. & CHILDS, S.W. (1991): Use of the Priestley–Taylor evaporation equation for soil water limited conditions in a small forest clearcut. - Agricultural and Forest Meteorology 56, 247–260.
- HAMON, W R. (1961): Estimating potential evapotranspiration. - Journal of Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers 871: 107–120.
- HAUDE, W. (1954): Zur praktischen Bestimmung des aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. – Mitt. Deutsch. Wetterdienst, Nr. 8, 21 S.
- KLIWA (2008): Langzeitverhalten von Sonnenscheindauer und Globalstrahlung sowie Verdunstung und klimatischer Wasserbilanz in Baden-Württemberg und Bayern. – KLIWA-Berichte Heft 12, 148 S.
- LINACRE, E. T. (1977): A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. - Agricultural Meteorology 18: 409–424.
- LÖPMEIER, F.-J. (1994): Berechnung der Bodenfeuchte und Verdunstung mittels agrarmeteorologischer Modelle. Zeitschrift f. Bewässerungswirtschaft, 29, 157–167.
- MAKKINK, G.F., (1957): Testing the Penman formula by means of lysimeters. International Journal of Water Engineering, 11: 277-288
- MCNAUGHTON, K.G. & BLACK, T.A. (1973): A Study of Evapotranspiration from a Douglas Fir Forest Using the Energy Balance Approach. - Water Resour. Res., 9: 1579-1590.
- MONTHEITH, J. L. (1965): Evaporation and environment. – In GOGG, G.E. (ed.): Symposium of the Society for experimental biology, The State and Movement of Water in Living Organisms, Vol. 19, 205-234.

- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F. & Loumagne, C. (2005): Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. - J. Hydrol., **303**, 290-306
- PENMAN, H. L. (1956): Evaporation: An introductory survey. Netherlands J. Agric. Sci.1:9-29, 87-97,151-153.
- PRIESTLEY, C. H. B. & TAYLOR, R. J. (1972): On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. - Monthly Weather Review, 100: 81-92.
- RACHNER (1999) In: BAGLUVA Wasserhaushaltsverfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der tatsächlichen Verdunstung und des Gesamtabflusses. – BfG-Report-1342, 118 S.
- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1990): Auswirkungen von Grundwasserabsenkung und Nutzungsänderungen auf die Grundwasserneubildung. – Mit. Inst. für Wasserwesen, Univ. der Bundeswehr München, 386: 295-307.
- RICHTER, D. (1997): Das Langzeitverhalten von Niederschlag und Verdunstung und dessen Auswirkung auf den Wasserhaushalt des Stechlinseegebietes, Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 201, 1-126.
- RITCHIE, J.T. (1972): A model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resources Research, 8 (5), 1204-1213
- Romanenko, V. A. (1961): Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area. - Proceedings Ukrainian Hydrometeorological Research Institute (Kiev), 3.
- SCHRÖDTER, H (1985): Verdunstung : Anwendungsorientierte Messverfahren und Bestimmungsmethoden. – 186 S.
- THORNTON, C.W. (1948): An approach toward a rational classification of climate. - The Geogr. Rev. 38 (1): 55-94.
- TURC, L. (1961): Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. – Ann Agron. Paris 12: 13-49.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure), 1990: Meteorologische Messungen, Grundlagen. – VDI Richtlinien 3786, Blatt 1.
- WENDLING, U., MÜLLER, J. & SCHWEDE, K. 1984. Ergebnisse von Verdunstungsmessungen über Gras mit einem *offline*-Datenerfassungssystem. *Zeitschrift für Meteorologie*, 34:190–202
- WENDLING, U. & MÜLLER, J. (1984): Entwicklung eines Verfahrens zur rechnerischen Abschätzung der Verdunstung im Winter. – Z. Meteorol. 34:82-85
- WENDLING, U., SCHELLIN, H.-G. & THOMÄ, M. (1991): Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für Zwecke des agrarmeteorologischen Beratung. – Z. Meteorol., 34: 82-85
- ZENKER, T. (2003): Verdunstungswiderstände und Gras-Referenzverdunstung. – Diss. TU Berlin., Fakultät VII – Architektur, Umwelt und Gesellschaft) 147 Seiten
- ZIMMERMANN, L., RASPE, S., SCHULZ, CH. & GRIMMEISEN, W. (2008): Wasserverbrauch von Wäldern, LWF aktuell 66/2008, 16 – 20.

## Verwundbarkeit

Siehe „Vulnerabilität“.

## Vulnerabilität

Die Anfälligkeit gegenüber Veränderungen der Umwelt wird seit den 1980er Jahren immer wieder unterschiedlich definiert. Der wissenschaftliche Gebrauch des Begriffs Vulnerabilität hat seinen Ursprung in der Geographie und der Forschung zu Naturgefahren. Heute ist der Begriff zentraler Punkt verschiedener Forschungsansätze im Naturgefahren- und Katastrophenmanagement, in der Ökologie, Gesundheit, Entwicklungshilfe, **Nachhaltigkeit** und Klimafolgenforschung.

Die Vulnerabilität ist ein Maß für die Anfälligkeit eines Bezugsraumes, einer Bezugsgruppe, eines Objektes, eines Individuums und/oder eines Systems für die Folgen eines Ereignisses. Bei dem System kann es sich um ein sozio-ökologisches, technisches, ökonomisches, institutionelles oder auch politisches System handeln. Vulnerabilität umfasst aber nicht nur die Charakteristik eines Raumes, Systems oder von Personen, sondern auch ihre Handlungskapazitäten in Form von Bewältigungs- und Anpassungsprozessen.

Vereinfacht gesagt beschreibt die Vulnerabilität, wie empfindlich das jeweilige Objekt auf innere und äußere Störereignisse reagiert. Dies schließt die Wahrscheinlichkeit für mögliche Schäden ein (TURNER et al. 2003), aber auch die Fähigkeit, wie das System mit den Einflüssen umgeht, um die Systemdienstleistungen weiterhin aufrechterhalten zu können (BIRKMANN et al. 2013).

Sehr häufig wird der Begriff „Vulnerabilität“ in Kombination mit dem Begriff „Resilienz“ (Belastbarkeit) verwendet und teilweise werden beide Begriffe durcheinander geworfen. Problematisch ist dabei, dass beide Begriffe unterschiedliche Aspekte des Systems beschreiben. Da es keine generell anerkannte Definition für Vulnerabilität gibt, ist bei der Verwendung des Begriffs darauf zu achten, dass er je nach Hintergrund und Zusammenhang mit unterschiedlichen Bedeutungen belegt ist (LENZ 2009). Je nach Definitionsansatz kann man sich dabei beispielsweise auf die geographische Lage, das Geschlecht, das Alter, die politische Zugehörigkeit, den Zugang zu Ressourcen, den Wohlstand oder den Einfluss von Entscheidungsträgern beziehen ([www.climate-adaptation.info](http://www.climate-adaptation.info)).

Vulnerabilität ist objektbezogen, d.h. sie bezieht sich stets auf einzelne Objekte, ganze Struktursysteme, räumliche Einheiten oder Schutzgüter (=Risikoelemente). Sie ist gefahrenspezifisch, d.h. sie kommt dann zum Tragen, wenn sich ein schädigendes Ereignis mit z. B. physischen Schäden zeigt. Die Auswirkungen lassen jedoch keinen direkten Rückschluss auf die Vulnerabilität des Risikoelements zu. Dies ist erst in Kombination mit der Betrachtung der Art und Intensität des Ereignisses möglich. Zudem kann ein Risikoelement eine unterschiedlich hohe Verletzlichkeit gegenüber unterschiedlichen Gefahren aufweisen (LENZ 2009).

Vulnerabilität ist multidimensional, d.h. sie wird durch zahlreiche Einflussfaktoren unterschiedlicher Dimensionen bestimmt, die in vielfältiger Weise miteinander in Wechselwirkung treten können. Dazu können die Einflussfaktoren mit der räumlichen Betrachtungsskala variieren, weshalb bei der Methodenentwicklung darauf geachtet werden muss, dass die gewählte Beobachtungsebene den Risikoelementen gerecht wird (LENZ 2009).

Das Konzept der Vulnerabilität ist ein theoretischer Ansatz für ein komplexes Phänomen, das nicht direkt beobachtet werden kann. Bei der Vulnerabilität handelt es sich um keine feste Größe, sondern sie wird durch das Handeln der betroffenen Menschen beeinflusst. Zahlreiche wissenschaftliche Disziplinen befassen sich mit diesem Phänomen, wobei sich jedoch das Verständnis des Begriffs sowie die verwendeten Untersuchungsmethoden stark voneinander unterscheiden. Bei den Naturwissenschaftlern stehen die möglichen physischen Schäden im Vordergrund. In der Klimafolgenforschung bezieht sich die Vulnerabilität auf die Eintrittswahrscheinlichkeit klimabezogener Ereignisse unter Berücksichtigung der Exposition. Dagegen verwenden Sozialwissenschaftler die Vulnerabilität stellvertretend für ein Set aus sozioökonomischen Faktoren, die die Fähigkeit beschreiben, wie Menschen oder die Gesellschaft Stress oder Veränderungen bewältigen können (vgl. [Anpassungskapazität](#)).

Bisher gibt es noch kein allgemein anerkanntes Konzept, das in der Lage ist, diese unterschiedlichen Ansätze in schlüssiger Weise zusammenzuführen. Das nützlichste Element des Vulnerabilitätskonzeptes ist die Vorstellung, dass eine Gefahr nicht unmittelbar in ein Risiko übersetzt werden kann. Vielmehr beschreibt die Vulnerabilität das Maß der Verwundbarkeit in Bezug auf eine gegebene Gefahr.

### **Vulnerabilität – Gefahren- und Katastrophenbetrachtung**

Im Bereich der Gefahren- und Katastrophenbetrachtung werden neben gefährlichen Stoffen (GABOR & GRIFFITH 1980, PIJAWKA & RADIAN 1985) Umweltgefahren (CUTTER et al. 2000) oder genauer spezifische Naturkatastrophen (UNDRRO 1982, ALEXANDER 1993) genannt, die zu einer Bedrohung für die Bevölkerung und somit zu einer Erhöhung der Vulnerabilität führen. In verkürzter Form lässt sich der Ansatz auf der Webseite des NOAA Coastal Services Center nachlesen ([www.csc.noaa.gov](http://www.csc.noaa.gov)). Hier wird die Vulnerabilität als das Niveau der Exposition von menschlichem Leben, Eigentum und Ressourcen gegenüber den Schäden durch Naturgefahren definiert.

## Vulnerabilität – Regionen und Gesellschaft

Das Schadenspotenzial sowie das Vorsorge- und Reaktionspotenzial bestimmen, inwieweit eine Region oder eine Gesellschaft verwundbar gegenüber einem definierten Ereignis ist (SUSMAN et al. 1984, CUTTER 1993). Steigt das Schadenspotenzial, so steigt auch die Vulnerabilität. Durch eine bessere Vorsorge gegenüber Gefährdungen kann die Vulnerabilität sinken ([www.stadtklimatolse.net](http://www.stadtklimatolse.net)). Vulnerabilität ist folglich ein dynamischer Zustand, der sich mit der Zeit verändern kann.

BOHLE et al. (1994) betrachten bei ihrer integrierenden Definition den vielschichtigen und mehrdimensionalen gesellschaftlichen Raum, der für jeden Zeitpunkt und Ort durch die politische, wirtschaftliche und institutionelle Kapazität der Menschen definiert wird.

## Vulnerabilität - Klimawandel

In Bezug auf den Klimawandel, kann die Vulnerabilität als ein Maß dafür verstanden werden, inwieweit ein System anfällig für die Auswirkungen von Klimaextremen, -schwankungen und -veränderungen ist bzw. nicht fähig ist, diese zu bewältigen (PARRY et al. 2007). Gemäß dieser Definition setzt sich die Vulnerabilität aus den Teilen Exposition, Sensitivität (Empfindlichkeit) und Anpassungskapazität zusammen. Die Exposition gibt hierbei an, inwieweit eine Region oder ein System bestimmten Veränderungen ausgesetzt ist (z. B. veränderte Niederschlags- oder Temperaturbedingungen). Die Sensitivität gibt die Empfindlichkeit des betroffenen Systems an und die Anpassungskapazität beschreibt die Fähigkeit einer Region oder eines Systems, sich durch Umsetzung von Maßnahmen an die veränderten Bedingungen anzupassen (PARRY et al. 2001). Dabei hängt die Anfälligkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels nicht nur von der Empfindlichkeit des Systems, sondern auch von deren Anpassungsfähigkeit ab (WILOWS & CORNELL 2003).

Einen konkreteren Definitionsansatz liefern SAREWITZ & PIELKE (2000), die nur die Anfälligkeit eines Systems für die Folgen von Extremwetterereignissen berücksichtigen.

Das IPCC benennt als besonders anfällige Bereiche den Wassersektor, die Landwirtschaft, die Forstwirtschaft, die Finanz- und Versicherungsindustrie sowie den Gesundheitssektor.

*Hinweis: Bei der Verwendung des Vulnerabilitätskonzepts müssen im Vorfeld das Risikoelement sowie alle Beteiligten definiert und dokumentiert sein. Vereinfacht gilt es, folgende Fragen zu beantworten: Wer oder was verursacht eine Vulnerabilität, und bei wem?*

### Quellen (Stand 28.10.13)

- Alexander, D. (1993): Natural disasters. New York: Chapman & Hall, 632 S.
- Birkmann, J., Böhm, H. R., Buchholz, F., Büscher, D., Daschkeit, A., Ebert, S., Fleischhauer, M., Frommer, B., Köhler, S., Kufeld, W., Lenz, S., Overbeck, G., Schanze, J., Schlipf, S., Sommerfeldt, P., Stock, M., Vollmer, M., Walkenhorst, O. (2013): Glossar Klimawandel und Raumentwicklung (2., üb. Fassung), - E-Paper der ARL Nr. 10. Hannover, 33 S.
- Bohle, H. G., Downing, T. E. & Watts, M. J. (1994): Climate change and social vulnerability: the sociology and geography of food insecurity. - *Global Environmental Change* 4, 37-48.
- Cutter, S. L. (1993): Living with risk. London: Edward Arnold., 214 pp.
- Cutter, S. L., Mitchell, J. T. & Scott, M. S. (2000): Revealing the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown county, South Carolina. - *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 90, no. 4, pp. 713-737.
- Gabor, T. & Griffith, T.K. 1980: The assessment of community vulnerability to acute hazardous materials incidents. - *Journal of Hazardous Materials*, 8, 323-333
- IPCC (2001): Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press
- Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., & Hanson, C. E. (eds.) (2007): Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 976 pp
- Lenz, S. (2009): Vulnerabilität Kritischer Infrastrukturen. - 89 S. (Hrsg.: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe).
- Pijawka, K. D. & Radwan, A. E. (1985): The Transportation of Hazardous Materials: Risk Assessment and Hazard Management. - *Dangerous Properties of Industrial Materials Report*: 2-11
- Sarewitz, D. & Pielke Jr., R.A. (2000): Breaking the Global-Warming Gridlock. *The Atlantic Monthly*, 286 (July): 55-64.

Susman, P., O'Keefe, P. & Wisner, B. (1984): Global disasters: a radical interpretation. – *In*: Hewitt, K. [ed.]: Interpretations of calamity, 264-83.

Turner II, B. L., Kasperson, R. E., Matsoon, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martel-Lo, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A., & Schiller, A. (2003): A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science. – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 100(14) (8 July): 8074-8079.

UNDRO (1982): Natural disasters and vulnerability analysis. Geneva: Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator. [ed.: United Nations Disaster Relief Organization]

Willows, R. I. & Cornell, R. K. (eds.), 2003: Climate Adaptation: Risk, Uncertainty and Decisionmaking. – UKCIP Technical Report, Oxford. 154 S.

<http://www.climate-adaptation.info>

<http://www.csc.noaa.gov/vata/intro2.html>

<http://www.stadtklimalotse.net/glossar>

## Vulnerabilität, Index

Ähnlich vielfältig wie die Definitionen für **Vulnerabilität** sind auch die entwickelten Vulnerabilitätsindices. Generell dienen sie dazu, verschiedene Orte, Systeme oder Individuen aus soziologischer, ökonomischer und/oder ökologischer Sicht hinsichtlich ihrer Vulnerabilität und ihres Verlustpotenzials zu bewerten bzw. zu vergleichen. Aus den Ergebnissen kann anschließend eine Risikoabschätzung entwickelt werden.

Beispielhaft werden nachfolgend der **Environmental Vulnerability Index** und der **Social Vulnerability Index** vorgestellt.

### Environmental Vulnerability Index

Der Environmental Vulnerability Index (EVI) wurde von der South Pacific Applied Geoscience Commission (SOPAC), dem United Nations Environment Programme und deren Partnern entwickelt, um das Ausmaß verschiedener Umweltprobleme für einzelne Nationen oder Regionen wie der Antarktis charakterisieren zu können.

Als ein numerisches Maß gibt der EVI den Status eines Landes hinsichtlich seiner ökologischen Anfälligkeit an. Dabei wird die Umwelt als das biophysikalische System definiert, das ohne den Menschen aufrechterhalten werden kann. Unter der Vulnerabilität wird das Ausmaß definiert, in dem die Umwelt anfällig gegenüber Schäden ist bzw. sich der Systemzustand verschlechtert, wobei mit Schaden der Verlust von Vielfalt, Umfang, Qualität und Funktionalität der Umwelt gemeint ist (PRATT et al. 2004).

Der EVI wurde darüber hinaus entwickelt, um ihn zusammen mit andern ökonomischen und sozialen Vulnerabilitätsindices zu verwenden. Darüberhinaus ist er ein Hilfsmittel, um Prozesse identifizieren zu können, die sich negativ auf die nachhaltige Entwicklung des jeweiligen Landes auswirken ([www.vulnerabilityindex.net](http://www.vulnerabilityindex.net)).

### Social Vulnerability Index

Der Social Vulnerability Index (SoVi) (sozialer Verwundbarkeitsindex) wurde von CUTTER et al. (2003) für die Vereinigten Staaten auf Kreisebene entwickelt. Für den Index werden 42 demographische und soziale Variablen benutzt, die keinen direkten Bezug zu Gefahren besitzen, sowie 11 unabhängige Faktoren, die für 76% der witterungsbedingten Todesfälle verantwortlich sind. Der Index, der Faktoren wie persönlicher Reichtum, Alter, Dichte der bebauten Umwelt, wirtschaftliche Abhängigkeiten, Wohnungsbestand, Mietrecht, berufliche Tätigkeit, Infrastruktur-Abhängigkeit oder ethnische Herkunft betrachtet, zeichnet ein realistisches Bild der Bevölkerung der USA sowie deren Anfälligkeit für Gefahren.

**Quellen** (Stand 28.10.13)

Cutter, S.L., Boruff, B.J. & Sgirley, W. L. (2003): Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly* 84:2, 242-261.

Pratt, C. R., Kaly, U. L. & Mitchell, J. (2004): Manual: How to Use the Environmental Vulnerability Index (EVI). - SOPAC Technical Report 383, 60 p. United Nations Environment Programme (UNEP). South Pacific Applied Geoscience Commission (SOPAC).

<http://www.vulnerabilityindex.net>

## Vulnerability-resilience indicator modell

Das Vulnerability-resilience indicator modell (Vulnerabilität-Resilient Indikator Modell, VRIM) verwendet 17 Faktoren, mit deren Hilfe man die Verwundbarkeit einer Gesellschaft beurteilen kann (MOSS et al. 2001, BRENKERT & MALLONE 2005). Berücksichtigt werden hierbei verwaltete und unverwaltete Regionen, ressourcenintensive Wirtschaftsaktivitäten und sozio-ökonomische Aspekte. Mit Hilfe des VRIM wurden u. a. 160 Länder miteinander verglichen und deren jeweilige Anpassungskapazität an den Klimawandel bei einem globalen Temperaturanstieg von 1,5°C bzw. 4,5°C bewertet (YOHE et al. 2006).

Tab.41: Sektoren und Variablen im VRIM (BRENKERT & MALONE 2005)

Sektorale Indikatoren	Variablen	Stellvertretend für
Ernährungssicherheit	Getreideproduktion pro Ernte-Landfläche	Landwirtschaft: Grad der Modernisierung, Zugang zu Mitteln, um natürliche Klimaschwankungen oder die Folgen des Klimawandels abpuffern zu können
	Proteinverbrauch pro Kopf	Zugang der Bevölkerung zu Agrarmärkten und anderen Mechanismen zur Kompensation von Produktionsausfällen
Empfindlichkeit der Ressource Wasser	Erneuerbare Wasserressourcen und Zufluss von Wasser	Quotient aus zugänglichen erneuerbaren Wasserressourcen und den Wasserentnahmen für aktuelle und geplante Bedarfe
Empfindlichkeit der Siedlungs- und Infrastruktur	Bevölkerung, die vom Meeresspiegelanstieg bedroht ist	Potentielles Ausmaß der Störungen durch den Meeresspiegelanstieg
	Bevölkerung ohne Zugang zu sauberem Wasser	Zugang der Bevölkerung zu grundlegenden Dienstleistungen, um natürliche Klimaschwankungen oder die Folgen des Klimawandels abpuffern zu können
	Bevölkerung ohne Zugang zu sanitären Anlagen	
Gesundheitsrisiken	Geburtenrate	Zahl der Lebendgeborenen
	Lebenserwartung	Zeitspanne, die dem Menschen ab einem gegebenen Zeitpunkt bis zum Tod verbleibt
Empfindlichkeit der Ökosysteme	bewirtschafteter Flächenanteil	Grad menschlicher Einflüsse auf die natürliche Landschaft (Flächenfragmentierung)
	Düngereinsatz pro Ackerfläche	Stickstoff-/Phosphor-Einträge in das Ökosystem; Stress durch Verschmutzung
Human- und gesellschaftliche Ressourcen	Abhängigkeitsquoten	Soziale und wirtschaftliche Ressourcen, die nach Abzug gegenwärtiger Bedarfe für Anpassungsmaßnahmen zur Verfügung stehen
	Kompetenz	Humankapital und Anpassungsfähigkeit von Arbeitskräften
Wirtschaftskapazität	Bruttoinlandsprodukt pro Kopf	Aufteilung der Zugänge zu Märkten, Technologien und anderen Ressourcen, die zur Anpassung nützlich sind.
	Einkommen, Eigenkapitalmaßnahmen	Umsetzung der potenziellen Beiträge aller Menschen

#### Quellen (Stand 28.10.13)

Brenkert, A. L. & Malone, E. L. (2005): Modeling Vulnerability and Resilience to Climate Change: A Case Study of India and Indian States. - Climatic Change 72, 57-102.

Moss, R. H., Brenkert, A.L. & Malone, E.L. (2001): Vulnerability to Climate Change: A Quantitative Approach. - PNNL-SA-33642, Pacific Northwest National Laboratory, Washington, DC.

Yohe, G., Malone, E., Brenkert, A., Schlesinger, M, Meij, H., Xing, X. & Lee, D., (2006): A Synthetic Assessment of the Global Distribution of Vulnerability to Climate Change from the IPCC Perspective that Reflects Exposure and Adaptive Capacity." Palisades, NY (Center for International Earth Science Information Network, Columbia University, <http://ciesin.columbia.edu/data/climate/>).

## Wachstumszeit

Siehe „Vegetationsperiode“.

## Waldbrand, Index

Zur Abschätzung der aktuellen Waldbrandgefahr werden zahlreiche Indices genutzt. Diese berücksichtigen, ausgehend von meteorologischen Beobachtungen, den Witterungsverlauf oder beziehen direkt den Feuchtegehalt des brennbaren Materials mit ein.

### ÅNGSTRÖM-Index

Der ÅNGSTRÖM Feuergefahren Index (fire ignition index) wurde in Schweden für ganz Skandinavien entwickelt (ÅNGSTRÖM 1942). Es ist ein einfacher Ansatz, der lediglich auf den täglichen Daten von Temperatur und Luftfeuchtigkeit um 13 Uhr (CHANDLER et al. 1983) basiert. Auf einer fünfstufigen Skala wird das Waldbrandrisiko für den Folgetag ausgedrückt (LANGHOLZ & SCHMIDTMAYER 1993).

Das Verfahren ist einfach anzuwenden. Allerdings neigt es zu einer Überschätzung der tatsächlichen Gefahrenlage, da der direkte Einfluss von Niederschlägen vernachlässigt wird. Niederschläge werden bei diesem Ansatz nur indirekt über die Parameter Temperatur und Luftfeuchte ausgedrückt (PATZELT 2008).

### BAUMGARTNER-Index

Die Gefahrenstufen nach BAUMGARTNER et al. (1967) basieren auf der statistischen Auswertung von Waldbränden in Bayern. Neben einer Untersuchung zur regionalen Verteilung, Häufigkeit und Größe von Waldbränden wurde bei der Entwicklung des Index ebenfalls ein Bezug zwischen dem zeitlichen Auftreten von Waldbränden (Jahreszeit bzw. Tageszeit) unter Berücksichtigung der meteorologischen Einflüsse hergestellt.

Zur Berechnung der fünf Waldbrandgefahrenstufen wurde die Differenz zwischen potentieller Verdunstung und den Niederschlagsmengen der letzten fünf Tage herangezogen.

### Canadian Forest Fire Weather Index

Der kanadische Waldbrand Wetter Index (FWI) wurde zur Ermittlung der Brandgefahr in den Waldgebieten von Kanada entwickelt. Er basiert auf der kontinuierlichen Messung von Temperatur, relativen Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und des 24h-Niederschlags (von 12.00 h bis 12.00 h) ([cwfis.cfs.nrcan.gc.ca](http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca)).

Der FWI besteht aus sechs Komponenten, die die Auswirkungen von Feuchtigkeit und Wind auf das Feuerverhalten berücksichtigen:

Die ersten drei Komponenten sind numerische Beschreibungen der Feuchtigkeitsgehalte von Streu und anderen Feinmaterialien in Wäldern (Fine Fuel Moisture Code, FFM), dem

durchschnittlichen Feuchtegehalt von locker geschichtetem, zersetztem, organischem Material in einer Tiefe von 5-10 cm (Duffy Moisture Code, DMC) und dem durchschnittlichen Feuchtegehalt von verdichtetem organischem Material in tiefer liegenden Schichten (Drought Code, DC).

Die anderen drei Komponenten sind Indices zur Beschreibung des Brandverhaltens. Sie repräsentieren die Geschwindigkeit der Brandausbreitung. Der Initiale Ausbreitungsindex (Initial Spread Index, ISI) verbindet die Windgeschwindigkeit mit dem FFMC und stellt somit einen Wert für die Ausbreitung bei einem Feuer dar, ohne den Einfluss der Brennstoffmenge zu kennen ([cfs.nrcan.gc.ca](http://cfs.nrcan.gc.ca)). Der Brennstoff Index (Buildup Index, BUI) kombiniert den DMC und DC und stellt die Summe an Brennstoffen dar, die zur Ausbreitung des Feuers zur Verfügung stehen. Der FWI kombiniert den ISI und den BUI und stellt die Stärke des sich ausbreitenden Feuers als einen Wert der Energiefreisetzung pro Längeneinheit der Feuerfront dar. Diesem Wert kann eine Gefahrenstufe zugeordnet werden ([cfs.nrcan.gc.ca](http://cfs.nrcan.gc.ca)).

### **NESTROV-Index**

Auf dem Gebiet der ehemaligen UdSSR arbeitet man mit dem NESTEROV-Index ([NESTEROV 1949](#)), der speziell für kalte gemäßigte Klimazonen entwickelt wurde. Grundlage dieses fünfstufigen Klassifikationssystems sind die Messung von Temperatur und Luftfeuchte um 13:00 Uhr. Diese Werte werden für jeden einzelnen Tag summiert, an dem weniger als 3 mm Niederschlag gefallen sind. Der Indexwert wird auf Null zurückgesetzt, wenn die Temperatur unter Null Grad Celsius sinkt oder wenn es mehr als 3 mm/d regnet ([LEHSTEN et al. 2010](#)).

### **Waldbrandgefahrenindex M-68**

Der Waldbrandgefahrenindex M-68 beschreibt das meteorologische Potenzial für die Feuergefährdung eines Waldes. Es ist nicht mit der Waldbrandwarnstufe vor Ort identisch, die von Landes- oder örtlichen Behörden festgelegt wird ([STOCK et al. 2012](#)).

Meteorologische Eingangsgrößen für diesen Index sind die Mittagswerte der Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit sowie die Niederschlagssumme der letzten 24 Stunden und die morgendliche Schneehöhe (nur im Frühjahr). Zusätzlich wird der Zustand der Bodenvegetation mitberücksichtigt, da er als Indikator für die Bodenfeuchte dient.

Nach 1990 wurde das Verfahren als „M-68 Modell nach KÄSE“ in den neuen Bundesländern mit geringfügigen Modifikationen, weitergeführt. Wegen seiner Zuverlässigkeit wurde das Prognoseverfahren M-68 Mitte der 1990er Jahre vom DWD in seinen operationellen Dienst zur Bestimmung und Vorhersage der Waldbrandgefährdung als Waldbrandgefahrenindex M-68 integriert ([STOCK et al. 2012](#)). Die Ergebnisse werden während der Waldbrandsaison als täglich aktualisierte Waldbrandgefahrenprognosen für Deutschland vom DWD im Internet bereitgestellt ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)). Im Unterschied zum herkömmlichen M68-Modell nutzt der DWD eine dreidimensionale Funktion in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Feuchte. Die Gefährdungsstufe wird wie international üblich von 1 bis 5 klassifiziert.

### **Waldbrandkennziffer nach KÄSE**

Das Verfahren nach [KÄSE \(1969\)](#) wurde für die klimatischen Bedingungen Mitteleuropas entwickelt und basiert auf meteorologischen und phänologischen Daten, die in Verbindung mit Wetterprognosen die Vorhersage der Waldbrandgefahr in Form einer Waldbrandkennziffer (WBKZ) erlauben.

Zur Vermeidung negativer Werte wird zu der gemessenen Temperatur 10 addiert. Bei Temperaturen unter -0,9°C wird der Tageswert der Kennziffer auf Null gesetzt. Vor der Addition des Tageswertes wird die bis zum Vortag aufsummierte Waldbrandkennziffer

entsprechend der in den vergangenen 24 Stunden gefallenen Niederschlagsmenge bzw. im Fall des Vorhandenseins einer geschlossenen Schneedecke und entsprechend des aktuellen Vegetationsstandes korrigiert. Es wird jeweils die Korrektur durchgeführt, die zu der stärkeren Reduktion der WBKZ führt ([Stock et al. 2012](#)).

#### Quellen (Stand 28.10.13)

Ångström, A. (1942): Riskerna for skogsbrand och deras beroende av vader och klimat (The risks for forest fires and their relation to weather and climate). - Svenska Skogsvirksomhetens tidskrift, Hefte IV:18.

Baumgartner, A., Raschke, E., Klemmer, L. & Waldmann, G. (1967): Waldbrände in Bayern 1950-1959. - Allg. Forst Z. 22, 220-222.

Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Traubard, L. & Williams, D. (1983): Fire in Forestry (Vol. 1: forest fire behavior and effects), 450 p., Wiley-Interscience Publication.

Käse, H. (1969): Ein Vorschlag für eine Methode zur Bestimmung und Vorhersage der Waldbrandgefährdung mit Hilfe komplexer Kennziffern. - Abh. meteorolog. Dienst der DDR 94, 68 pp.

Langholz, H. & Schmidtmayer, E. (1993): Meteorologische Verfahren zur Abschätzung des Waldbrandrisikos, - Allg. Forst Z., 48, 394-396.

Lehsten, V., Harmand, P., Palumbo, I., & Arneth, A. (2010): Modelling Burned Area in Africa. - Biogeosciences, 7, 3199-3214.

Nesterov, V.G., 1949. Combustibility of the Forest and Methods for its Determination (in Russian). USSR State Industry Press

Patzelt, S. T. (2008): „Waldbrandprognose und Waldbrandbekämpfung in Deutschland - zukunftsorientierte Strategien und Konzepte unter besonderer Berücksichtigung der Brandbekämpfung aus der Luft“. – Diss. Uni Mainz, 327 S.

Stock, M., Österle, L., Kollas, C., Suckow, F., Lasch, P., Lüttger, A., Krysanova, V., Wechsung, F., Österle, H., Hattermann, F., Huang, S., Wodinski, M. & Kartschall, T. (2012): Aufbau eines Fachinformationssystems „Klimafolgen und Anpassung“ (FISKA) - Bericht UBA-Forschungsprojekt, FKZ: 206 41 100, 165 S.

<http://cfs.nrcan.gc.ca>

<http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca>

<http://www.dwd.de>

## Warmperiode, Index

Der „Warm spell duration index“ (WSDI) definiert die Warmperiode ab einer Zeitperiode von sechs aufeinanderfolgenden Tagen, an denen die Maximaltemperatur größer ist als das 90. Perzentil einer Basisperiode (z.B. 1961 – 1990) ([cccma.seos.uvic.ca](http://cccma.seos.uvic.ca), [icdc.zmaw.de](http://icdc.zmaw.de)).

#### Quellen (Stand: 31.07.12)

<http://cccma.seos.uvic.ca>

<http://icdc.zmaw.de>

## Wasserbilanz, klimatische

Die klimatische Wasserbilanz ergibt sich aus der Differenz von Niederschlag und potentieller Evapotranspiration (DIN4049-3, [DIN 1994](#)). Sie stellt ein Maß für das Wasserangebot in einem Gebiet dar und liefert Hinweise darauf, welche Vegetation in einem Gebiet auftreten kann und gegebenenfalls wie viel Wasser für den Landbau notwendig ist. Aus der klimatischen Wasserbilanz kann die [Grundwasserneubildung](#) nur eingeschränkt abgeschätzt werden.

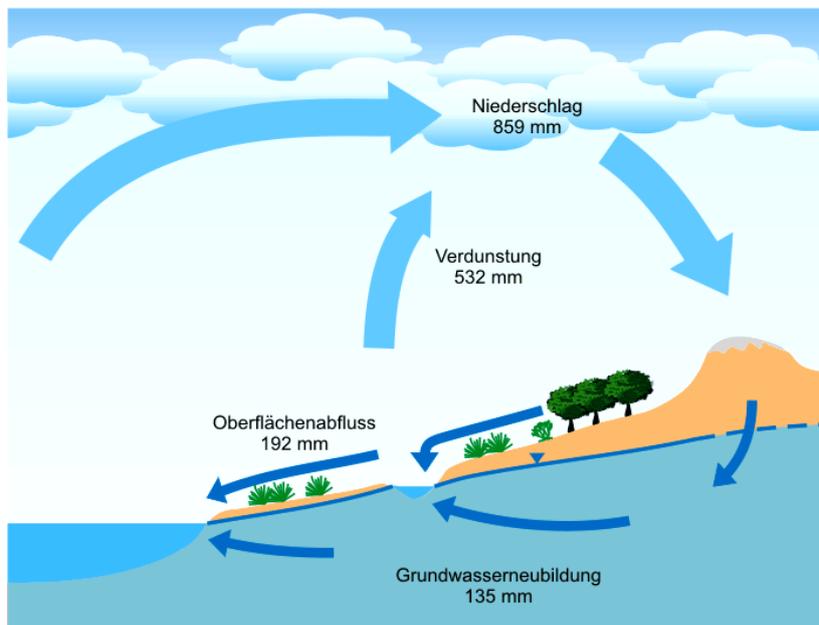


Abb.6: Schematische Darstellung des Wasserkreislaufs für Deutschland (1961 – 1990) (nach BfG 2008); ([www.bgr.bund.de](http://www.bgr.bund.de))

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (1994): DIN 4049-3, Hydrologie - Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie, 80 S. <http://www.bgr.bund.de>

## Wasserstand

Der Wasserstand bezeichnet die Höhe des Wasserspiegels über einem definierten Bezugspunkt (Pegelnullpunkt). Umgangssprachlich werden Wasserstand und Pegel häufig fälschlicherweise gleichgesetzt ([www.globistica.com](http://www.globistica.com)).

**Quellen** (Stand 28.10.13)

<http://www.globistica.com>

## Wasserwirtschaftsjahr

Siehe „Hydrologisches Jahr“

## Water Exploitation Index

Der Water Exploitation Index (Wasserausbeutungs-Index) (WEI) ist der Quotient der mittleren jährlichen Süßwasserentnahme und der langfristigen, durchschnittlich zur Verfügung stehenden Wasserressourcen. Er beschreibt somit den Druck, den die Wasserentnahme auf die Wasserressourcen ausübt.

Die langfristig durchschnittlich zur Verfügung stehenden Wasserressourcen werden anhand der langfristigen durchschnittlichen Niederschlagsmenge minus der langfristigen durch-

schnittlichen Evaporationsrate zuzüglich dem langfristigen durchschnittlichen Zufluss aus angrenzenden Bereichen berechnet ([www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)).

Laut Literatur wird der Schwellenwert bei 20% festgelegt, um Länder mit und ohne Wasserstress zu klassifizieren. Ein schwerer Wasserstress tritt bei WEI>40% auf, was jedoch nur auf eine starke Konkurrenz der Wassernutzungen und nicht zwangsläufig auf eine Wasserkrise hindeutet. Einige Fachleute glauben, dass die Wasserressourcen intensiver genutzt werden könnten und der Schwellenwert auf 60% angehoben werden sollte. Aus Sicht der Süßwasser-Ökosysteme wird allerdings darauf hingewiesen, dass bereits ein WEI>40% zu negativen Folgen führt (ALCAMO et al. 2000).

#### Quellen (Stand 28.10.13)

Alcamo, J., Henrich, T. & Rösch, T. (2000): World Water in 2025 – Global modeling and scenario analysis for the World. Commission on Water for the 21st Century. - Report A0002, 47p. Centre for Environmental System Research, University of Kassel, Germany.  
<http://www.eea.europa.eu>

## Well-being-Index

Der Well-being Index setzt sich aus dem arithmetischen Mittel des **Human Well-being Index** (HWI) und dem **Ecosystem Well-Being Index** (EWI) zusammen (PRESCOTT-ALLEN 2001). Somit hängt die Beurteilung des Wohlergehens einer Nation sowohl vom menschlichen Wohlbefinden der Bevölkerung, als auch vom ökologischen Zustand des Landes ab. Der HWI setzt sich aus 36 Indikatoren zusammen, die Informationen über Gesundheit, Soziales, Wissen, Kultur, Gesellschaft und dem nationalen Wohlstand umfassen. Im EWI werden 51 Indikatoren berücksichtigt, die Informationen zu Land, Wasser, Luft, Arten sowie Ressourcenbereitstellung liefern (BÖHRINGER & JOCHEM 2007). Dieser Ansatz liefert letztendlich eine Punktzahl, wobei die Bestnote einer hohen Lebensqualität bei gleichzeitig geringer Umweltbeanspruchung gleich kommt.

#### Quellen (Stand 28.10.13)

Böhringer, C. & Jochem, P. (2007): Measuring the Immeasurable: A Survey of Sustainability Indices. - Ecological Economics Volume 63, Issue 1, Pages 1–8  
Prescott-Allen, R. (2001): The Wellbeing of Nations. A country-by-Country Index of Quality of Life and the Environment. Island Press. 341 pp.

## Wetter

Das Wetter beschreibt den spürbaren momentanen Zustand der Atmosphäre oder eine Abfolge von Zuständen der Atmosphäre an einem bestimmten Ort der Erdoberfläche für den Zeitraum von Sekunden bis zu Tagen (LAUER & BENDIX 2004). Der Zustand der Atmosphäre wird beschrieben durch meteorologische Elemente wie: Temperatur, Luftdruck, Wind, Strahlung, Luftfeuchtigkeit, Bewölkung und Niederschlag. Man nennt sie auch Wetterelemente ([www.geo.fu-berlin.de](http://www.geo.fu-berlin.de)).

Die Darstellung des atmosphärischen Zustandes erfolgt in Form von Wetterkarten (Boden- und Höhenwetterkarten). Zur Wettervorhersage gebraucht man numerische Modelle der Atmosphäre, die auf den physikalischen Gesetzmäßigkeiten basieren ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

Lauer, W.; Bendix, J. (2004): Klimatologie. Das Geographische Seminar. Braunschweig.

<http://www.dwd.de/>

<http://www.geo.fu-berlin.de>

## Wetterlage

Der Begriff Wetterlage bezeichnet den Wetterzustand, wie er im Hinblick auf die wichtigsten meteorologischen Parameter (Luftdruck, Geopotential, Boden- und Höhenwind, Bewölkung, Niederschlag, Lufttemperatur und Luftfeuchte) über einem begrenzten Gebiet, während eines kurzen, höchstens eintägigen Zeitintervalls vorherrscht ([www.dwd.de/](http://www.dwd.de/)).

Bleibt eine Wetterlage über mehrere Tage relativ unverändert, spricht man von einer Großwetterlage.

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.dwd.de/>

## Wiederkehrwahrscheinlichkeit

Wiederkehrwahrscheinlichkeit oder Wiederkehrintervall, siehe „Jährlichkeit“

## Windstärke

Die Windstärke bezeichnet einen geschätzten Stärkewert, der aus den Auswirkungen des Windes auf die Wasseroberfläche oder auf Objekte an Land abgeleitet wird. In der international vereinbarten 13-teiligen **Beaufort-Skala** sind jedem Stärkewert Windgeschwindigkeitsbereiche zugeordnet ([www.dwd.de](http://www.dwd.de/)). Für die Belange der Luftfahrt und für stündlich verbreitete Wettermeldungen werden allerdings viel genauere Messungen der Windgeschwindigkeit verwendet.

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.dwd.de>

## Windstiller Tag

Die Definitionen für einen windstillen Tag weisen deutliche Unterschiede bei den Windgeschwindigkeiten ( $V_w$ ) auf. Der Deutsche Wetterdienst bezieht sich direkt auf die Klassifikation der **Beaufort-Skala**, wobei die Windstärke 0 der Windstille entspricht ( $V_w < 1$  km/h) ([www.dwd.de](http://www.dwd.de/)). Das Landesamt Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen wählt einen vergleichbaren Ansatz ( $V_w < 1,08$  km/h) ([www.klimaatlas.nrw.de](http://www.klimaatlas.nrw.de)). Davon abweichend, werden im Norddeutschen Klimaatlas Tage als windstille Tage bezeichnet, an denen die maximale Windgeschwindigkeit weniger als 12 km/h (Beaufort-Skala 2 = leichte Brise) beträgt ([www.norddeutscher-klimaatlas.de](http://www.norddeutscher-klimaatlas.de)).

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

<http://www.dwd.de>

<http://www.klimaatlas.nrw.de>

<http://www.norddeutscher-klimaatlas.de>

## Winterdürre

Siehe „Frosttrocknis“

## Win-Win-Maßnahmen

Wenn man bei Anpassungsmaßnahmen in Bezug auf die Folgen des Klimawandels von Win-Win-Maßnahmen spricht, so haben diese einen klimapolitischen Nutzen (Reduktion der **Vulnerabilität** oder Steigerung der **Resilienz**) und sie stellen ebenfalls einen zusätzlichen sozialen, ökonomischen oder ökologischen Nutzen in Aussicht ([BECK et al. 2011](#), [UKCIP 2005](#)).

Dies schließt ebenfalls Anpassungsmaßnahmen ein, die die Anpassungskapazität erhöhen, den Klimaschutz verstärken ([BECK et al. 2011](#)), oder die sowohl zur Anpassung an den Klimawandel als auch zum Klimaschutz (z. B. durch Reduktion der Treibhausgasemissionen) beitragen ([LAWA 2010](#)).

Beispiele für Win-Win-Maßnahmen aus dem Themenfeld sind:

- Geschäftsmöglichkeiten im Bereich Energieeffizienz ([www.worldbank.org](http://www.worldbank.org))
- Nachhaltiges Boden- und Wassermanagement ([www.worldbank.org](http://www.worldbank.org))
- Schaffung bzw. Wiederherstellung von Überflutungsräumen (unterstützt Hochwasserschutz, fördert Biodiversität und erhält Lebensräume) ([UKCIP 2005](#))
- Verbesserte Vorsorge und Notfallplanung im Umgang mit Risiken ([UKCIP 2005](#))
- Grüne Dächer und grüne Wände (reduziert Energieverbrauch für Heizung und Kühlung, verbessert das Stadtklima, reduziert Niederschlagsabfluss, fördert Biodiversität) ([UKCIP 2005](#))

**Quellen** (Stand 28.10.13)

Beck, S., Bovet, J., Baasch, S., Reiß, P. & Görg, C. (2011): Synergien und Konflikte von Anpassungsstrategien und –maßnahmen. – UBA-Bericht, Climate Change, 08/2011, 70 S.

LAWA (2010) [Hrsg. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser]: Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft, Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen. – Strategiepapier beschlossen auf der 139. LAWA-VV, 36 S.

UKCIP (2005): Identifying adaptation options, UKCIP-Report 34p. [http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wp-content/PDFs/ID\\_Adapt\\_options.pdf](http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wp-content/PDFs/ID_Adapt_options.pdf)

<http://www.worldbank.org>

## Witterung

Witterung beschreibt die Abfolge der atmosphärischen Zustände mit einer relativ homogenen Ausprägung in einem Gebiet. Der Zeitraum reicht hierbei von mehreren Tagen bis zu einer Jahreszeit ([www.geo.fu-berlin.de](http://www.geo.fu-berlin.de), [LAUER & BENDIX 2004](#)). Die Beschreibung umfasst die wichtigsten Charakteristika des Wetters dieses Zeitraums, wie etwa im Altweibersommer, in der Zeit der Herbststürme oder während einer Föhnperiode in den Alpen.

**Quellen** (Stand: 31.07.12)

Lauer, W.; Bendix, J. (2004): Klimatologie. Das Geographische Seminar. Braunschweig.

<http://www.geo.fu-berlin.de>

## Annex 1: Verwendete Abkürzungen

Abkürzung	Parameter
T	Lufttemperatur [°C]
T <sub>14</sub>	Lufttemperatur um 14:00 Uhr [°C]
T <sub>m</sub>	Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]
T <sub>mnday</sub>	Mittelwert der Lufttemperatur für ein bestimmtes Zeitintervall (Tag, Monat) [°C]
T <sub>mJ</sub>	Jahresmitteltemperatur [°C]
t <sub>d</sub>	Anzahl der Trockentage seit dem letzten Niederschlagsereignis [-]
T <sub>dry</sub>	Temperatur der trockenen Luft Tageswert [°C]
T <sub>h</sub>	Temperatur [°C] in der Höhe h [m]
T <sub>mnd</sub>	mittlere Taupunkt [°C]
W <sub>Bi</sub>	Bodenwasservorrat im effektiven Wurzelraum zu Beginn des Tages [mm]
W <sub>Pfl</sub>	pflanzenverfügbare Wassermenge im Boden (W <sub>Pfl</sub> = nutzbare Feldkapazität (nFk) + kapillarer Aufstieg)
nFk	nutzbare Feldkapazität [Vol-%]
FK <sub>mW</sub>	mittlere Feldkapazität im effektiven Wurzelraum [%]
S <sub>d</sub>	Sonnenscheindauer des Tages [h]
S <sub>12h</sub>	Sonnenscheindauer in 12 h-Einheit
S <sub>0md</sub>	mittlere tägliche Sonnenscheindauer (h/d)
S <sub>0m</sub>	mittlere tägliche astronomisch mögliche Sonnenscheindauer des Zeitintervalls [h]
S <sub>0</sub>	astronomisch mögliche Sonnenscheindauer [h]
S <sub>Jahr</sub>	Jahressumme der Sonnenscheindauer [h]
S <sub>R</sub>	Verhältnis der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer zu der bei Tag- und Nachtgleiche (=S <sub>0</sub> /12)
s	Steigung der (Sättigungs-)Dampfdruckkurve [hPa/K]
Z <sub>Wm</sub>	Messhöhe der Windgeschwindigkeit [m]
Z <sub>a0</sub>	aerodynamische Rauheitslänge der Vegetation im Jahresverlauf [m]
f <sub>Haude</sub>	Monatskoeffizient (Haude-Faktor) [-]
f <sub>Pr-Ta</sub>	Priestley-Taylor Koeffizient
F <sub>14</sub>	relative Luftfeuchte um 14:00 Uhr [%]
F <sub>mnmon</sub>	Monatlicher Mittelwert der relativen Feuchtigkeit
f <sub>k</sub>	Küstenfaktor, im Küstenbereich von 50 km Breite als Mittelwert f <sub>k</sub> =0,6, sonst f <sub>k</sub> =1,0 [-]
BFI	Blattflächenindex [-]
F <sub>md</sub>	Tagesmittel der relativen Luftfeuchte [%]
F <sub>d</sub>	relative Luftfeuchte [%]
γ	Psychrometerkonstante [hPa/K]
ρ	Dichte der Luft [kg/cm <sup>3</sup> ]
c <sub>p</sub>	spezifische Wärme der Luft bei konst. Druck [J/(kg K)]
α	Albedo (Reflektionsvermögen der Landbedeckung) [-]
α <sub>p</sub>	planetare Albedo
α <sub>a</sub>	Albedo der wolkenlosen Atmosphäre
α <sub>c</sub>	Wolkenalbedo
α <sub>s</sub>	Oberflächenalbedo
A <sub>a</sub>	atmosphärische Absorption
φ	geographische Breite (Breitengrad) [°]
JT	Datum in fortlaufender Tageszählung
R <sub>n</sub>	Nettostrahlung [MJ/(m <sup>2</sup> *d)]
R <sub>0</sub>	extraterrestrische Strahlung [J/m <sup>2</sup> ]
R <sub>L</sub>	effektive langwellige Ausstrahlung [J/m <sup>2</sup> ]
R <sub>Kr</sub>	reflektierte, kurzwellige Strahlung
R <sub>EK</sub>	Einstrahlung, kurzwellige Strahlung
R <sub>nB</sub>	Strahlungsbilanz [W/m <sup>2</sup> ]
R <sub>Gd</sub>	Tagessumme der Globalstrahlung [J/cm <sup>2</sup> ]
R <sub>G</sub>	Globalstrahlung [J/cm <sup>2</sup> ]
R <sub>kos</sub>	kosmische Strahlung [mm/d]
R <sub>mG</sub>	mittlere Globalstrahlung [J/cm <sup>2</sup> ]
R <sub>Eff</sub>	effektive Strahlungsbilanz [W/m <sup>2</sup> ]

Abkürzung	Parameter
G	Bodenwärmestromdichte [W/m <sup>2</sup> ]
r <sub>a</sub>	aerodynamischer Widerstand [s/m]
r <sub>ms</sub>	mittlerer Bestandswiderstand (Stomatawiderstand) [s/m]
r <sub>c</sub>	Oberflächenwiderstand des Kronendaches [s/m]
L <sub>1</sub>	spezifische Verdunstungswärme für 1 mm Verdunstungshöhe [J/kg]
L	spezielle Verdunstungswärme [(J/cm <sup>2</sup> )/mm]
L <sub>L</sub>	spezifische Wärme der feuchten Luft [kJ/kg °C]
L <sub>w</sub>	Verdunstungswärme [MJ/kg]
F(t) <sub>Wald</sub>	Korrekturfaktor (F(t) < 1,4 – 1,6) abhängig vom Waldtyp und phänologischen Stadium
f(v)	von Windgeschwindigkeit v und Bewuchshöhe abhängige Funktion
Δe <sub>s</sub>	Sättigungsdefizit abhängig von Lufttemperatur T und Dampfdruck e [hPa]
Δe <sub>m</sub>	mittlerer Dampfdruckgradient [hPa]
Δe	Dampfdruckdefizit [hPa]
e	Dampfdruck [hPa]
e <sub>14</sub>	Sättigungsdampfdruck um 14:00 Uhr [hPa]
ET <sub>Pot,i</sub>	potentielle Evapotranspiration multipliziert mit Bestandskoeffizient [mm/d]
ET <sub>pot</sub>	potentielle Evapotranspiration [mm/d]
ET <sub>akt</sub>	Aktuelle/reelle/tatsächliche Evapotranspiration [mm/d]
ET <sub>Pot-Wald</sub>	Potentielle Evapotranspiration Wald [mm/d]
ET <sub>Pot-W-Veg</sub>	Potentielle Transpiration Wald für den vegetationsbedeckten Anteil der Bodenoberfläche [mm/d]
ET <sub>mPot-Veg</sub>	langjähriges Mittel ET <sub>Pot</sub> in der Vegetationsperiode [mm/d]
EV <sub>akt</sub>	aktuelle Bodenevaporation [cm/d]
EV <sub>Pot</sub>	potentielle Evaporation [m/d]
EV <sub>L</sub>	Evaporationsverlust [W/m <sup>2</sup> ]
Z <sub>mw</sub>	mittlere Wurzeltiefe [dm]
v <sub>2</sub>	Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe [m/s]
v <sub>wf12</sub>	Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe über der Wasserfläche, gültig für Tageswerte [m/s]
v <sub>m2</sub>	Tagesmittel der Windgeschwindigkeit in 2m Höhe [m/s]
v <sub>w</sub>	Windgeschwindigkeit [m/s]
C <sub>Mak1</sub> , C <sub>Mak2</sub> , a <sub>Mak</sub> , J <sub>Mak</sub>	Empirische bzw. standortspezifische Faktoren des Verfahrens nach MAKINK
n	Länge des gewählten Zeitintervalls [d]
N <sub>J</sub>	jährliche Niederschlagshöhe [mm]
N <sub>So</sub>	Sommerniederschlag (Summe 01.04 bis 30.09) [mm]
N <sub>Wi</sub>	Winterniederschlag (Summe 01.10 bis 31.03 des Folgejahres) [mm]
N <sub>i</sub>	Bestandsniederschlag am Tag i [mm/d]
PWP <sub>m</sub>	mittlerer Welkepunkt im effektiven Wurzelraum [%]
θ <sub>i</sub>	Solarer Zenithwinkel
ᾱ(θ <sub>i</sub> )	gerichtet-hemisphärischer Reflexionsgrad bzgl. dem solaren Zenithwinkel
ᾱ <sub>D</sub>	Anteil der Bi-hemisphärischen Reflexion an der diffusen Beleuchtung D
I <sub>0</sub>	Strahlungsstärke Parallelstrahl [erg/(cm <sup>2</sup> *s)]
C <sub>sca</sub>	Anteil der Streuung
C <sub>ext</sub>	Anteil der Extinktion
Q <sub>sca</sub>	Streueffizienz
Q <sub>ext</sub>	Effizienz der Extinktion

## Annex 2: Formeln

### Albedo

#### Terrestrische Albedo

nach <http://www.top-wetter.de>

$$\alpha = \frac{\sum R_{Kr}}{\sum R_{RK}}$$

$R_{Kr}$ : reflektierte, kurzwellige Strahlung  
 $R_{RK}$ : Einstrahlung, kurzwellige Strahlung

nach <http://en.wikipedia.org>

$$\alpha = (1-D) \cdot \bar{\alpha}(\theta_i) + D\bar{\bar{\alpha}}$$

$\theta_i$ : Solarer Zenithwinkel  
 $\bar{\alpha}(\theta_i)$ : gerichtet-hemisphärischer Reflexionsgrad bzgl. dem solaren Zenithwinkel  
 $\bar{\bar{\alpha}}$ : Anteil der bi-hemisphärischen Reflexion an der diffusen Beleuchtung D

#### Albedo eines Einzelkörpers nach VAN DE HULST (1957)

$$\alpha = \frac{I_0 \cdot C_{sca}}{I_0 \cdot C_{ext}} = \frac{Q_{sca}}{Q_{ext}}$$

$I_0$ : Strahlungsstärke Parallelstrahl [erg/(cm<sup>2</sup>\*s)]  
 $C_{sca}$ : Anteil der Streuung  
 $C_{ext}$ : Anteil der Extinktion  
 $Q_{sca}$ : Streueffizienz  
 $Q_{ext}$ : Effizienz der Extinktion

#### Planetare Albedo nach HANEY (1957)

$$\alpha_p = \alpha_a + \alpha_c + \alpha_s \cdot (1 - (\alpha_a + \alpha_c + A_a))$$

$\alpha_p$ : planetare Albedo  
 $\alpha_a$ : Albedo der wolkenlosen Atmosphäre  
 $\alpha_c$ : Wolkenalbedo  
 $\alpha_s$ : Oberflächenalbedo  
 $A_a$ : atmosphärische Absorption

#### Quellen (Stand 28.10.13)

Haney, R.L. (1971): Surface thermal boundary condition for ocean circulation models. – J. Phys. Oceanogr., 1, 241-248.

van de Hulst, H. C. (1957): Light scattering by small particles. – 470 S., John Wiley & Sons, New York.

<http://en.wikipedia.org>

<http://www.top-wetter.de>

## Hitze-Index

### Hitze-Index nach STEADMAN (1979)

$$HI = c_1 + c_2 \cdot T_{\text{dry}} + c_3 \cdot F_d + c_4 \cdot T_{\text{dry}} \cdot F_d + c_5 \cdot T_{\text{dry}}^2 + c_6 \cdot F_d^2 + c_7 \cdot T_{\text{dry}}^2 \cdot F_d + c_8 \cdot T_{\text{dry}} \cdot F_d^2 + c_9 \cdot T_{\text{dry}}^2 \cdot F_d^2$$

$T_{\text{dry}}$ : Temperatur der trockenen Luft, Tageswert [°C]

$F_d$ : relative Luftfeuchtigkeit [%]

$c_1$  bis  $c_9$ : Konstanten mit ( $c_1=-8,7847$ ;  $c_2=1,6114$ ;  $c_3=2,338$ ;  $c_4=-0,1461$ ,  $c_5=-1,231 \text{ E-}02$ ;

$c_6=-1,6425 \text{ E-}02$ ;  $c_7=2,2117 \text{ E-}03$ ;  $c_8=7,2546 \text{ E-}04$ ;  $c_9=-3,582 \text{ E-}06$ )

#### Quellen (Stand 28.10.13)

Steadman, R. G. (1979): The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. - Journal of Applied Meteorology, Vol. 18 No7, pp861-873.

## Ermittlung der potentiellen Evapotranspiration

### Verfahren nach BLANEY-CRIDDLE (1950)

Ähnlich wie beim TURC-Verfahren werden negative Werte gleich 0 gesetzt.

$$ET_{\text{Pot-BC}} = (8,128 + 0,457 \cdot T) \cdot \frac{S_0 \cdot 100}{S_{\text{Jahr}}}$$

T: Lufttemperatur

$S_0$ : astronomisch mögliche Sonnenscheindauer

$S_{\text{Jahr}}$ : Jahressumme der Sonnenscheindauer

Für Deutschland wird die von SCHRÖDTER (1985) angepasste Formel empfohlen.

$$ET_{\text{Pot-Schr}} = -1,55 + 0,96 \cdot (8,128 + 0,457 \cdot T) \cdot \frac{S_0 \cdot 100}{S_{\text{Jahr}}}$$

T: Lufttemperatur

$S_0$ : astronomisch mögliche Sonnenscheindauer

$S_{\text{Jahr}}$ : Jahressumme der Sonnenscheindauer

### Verfahren nach HAUDE (1954)

Die größtmögliche erreichbare Tagessumme beträgt 7 mm/d. Höhere Ergebniswerte werden mit diesen Wert gleichgesetzt.

$$ET_{\text{Pot-Hau}} = f_{\text{Haude}} \cdot e_{14} \cdot \left(1 - \frac{F_{14}}{100}\right)$$

$$e_{14} = 6,11 \cdot 10^{\frac{7,48 \cdot T_{14}}{237 + T_{14}}} \quad (\text{DVWK 1996}) \quad \text{bzw.} \quad e_{14} = 6,11 \cdot 10^{\frac{17,62 \cdot T_{14}}{243,12 + T_{14}}} \quad (\text{HAUDE 1955})$$

mit:

$f_{\text{Haude}}$ : Monatskoeffizient (Haude-Faktor) [-]

$e_{14}$ : Sättigungsdampfdruck um 14:00 Uhr [hPa]

$F_{14}$ : relative Luftfeuchte um 14:00 Uhr [%]

$T_{14}$ : Lufttemperatur um 14:00 Uhr [°C]

Tab.42: Monatliche Pflanzenfaktoren für Verfahren nach HAUDE in Deutschland

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Unbewachsener Boden (Haude 1954)	0,26	0,26	0,33	0,39	0,39	0,37	0,35	0,33	0,31	0,26	0,26	0,26
Gras (Löpmeier 1994)	0,20	0,20	0,21	0,29	0,29	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	0,22	0,20
Gras (DVWK 1996)	0,22	0,22	0,22	0,29	0,29	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	0,22	0,22
Rasen (VDI 1990)	0,20	0,20	0,22	0,34	0,29	0,29	0,28	0,26	0,23	0,20	0,20	0,20
Wiesen (VDI 1990)	0,20	0,20	0,25	0,29	0,29	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	0,20	0,20
Mais (Löpmeier 1994)	0,15	0,15	0,18	0,18	0,18	0,26	0,26	0,26	0,24	0,21	0,14	0,14
Roggen (Löpmeier 1994)	0,18	0,18	0,20	0,30	0,38	0,36	0,28	0,20	0,18	0,18	0,18	0,18
Sommergerste (Löpmeier 1994)	0,15	0,15	0,18	0,25	0,30	0,36	0,26	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Winterraps (Löpmeier 1994)	0,18	0,18	0,20	0,32	0,37	0,35	0,26	0,20	0,18	0,18	0,18	0,18
Winterweizen (Löpmeier 1994)	0,18	0,18	0,19	0,26	0,34	0,38	0,34	0,22	0,21	0,20	0,18	0,18
Zuckerrüben (Löpmeier 1994)	0,15	0,15	0,18	0,15	0,23	0,30	0,36	0,32	0,26	0,19	0,14	0,14
Buschbrache* (Ernstberger 1987)	0,10	0,10	0,10	0,20	0,28	0,45	0,38	0,35	0,28	0,20	0,10	0,10
Buche (VDI 1990)	0,01	0,00	0,04	0,10	0,23	0,28	0,32	0,26	0,17	0,10	0,01	0,00
Buche/Eiche, alt* (Ernstberger 1987)	0,01	0,01	0,01	0,10	0,25	0,33	0,35	0,30	0,30	0,20	0,01	0,01
Fichte (VDI 1990)	0,08	0,04	0,14	0,35	0,39	0,34	0,31	0,25	0,20	0,13	0,07	0,05
Fichte, jung* (Ernstberger 1987)	0,01	0,01	0,05	0,23	0,28	0,30	0,33	0,28	0,25	0,10	0,01	0,01
Fichte, mittelalt* (Ernstberger 1987)	0,01	0,01	0,05	0,23	0,28	0,35	0,38	0,33	0,25	0,15	0,01	0,01

\*: Interzeption wird getrennt betrachtet

### Verfahren nach HAMON (1961)

$$ET_{\text{Pot-Ham}} = 0,55 \cdot (S_{12h})^2 \cdot (0,0495 \cdot e^{(0,062 \cdot T_m)})$$

$T_m$ : Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]  
 $S_{12h}$ : Sonnenscheindauer in 12 h-Einheit

### Verfahren nach LINACRE (1977)

$$ET_{\text{Pot-Lin}} = \frac{500 \cdot T_h / (100 - \varphi) + 15 \cdot (T - T_{\text{mnd}})}{(80 - T)}$$

$T_h$ : Temperatur [°C] in der Höhe h [m]  
 $(T_h = T + 0,006 \cdot h)$   
 $T$ : Lufttemperatur [°C]  
 $T_{\text{mnd}}$ : mittlerer Taupunkt [°C]  
 $\varphi$ : Breitengrad [°]

## Verfahren nach OUDIN (OUDIN et al. 2005)

$$ET_{\text{Pot-Oud}} = \frac{1}{L_w} \cdot R_{\text{kos}} \cdot \left( \frac{T_a + 5}{100} \right)$$

$T_a$ : Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]  
 $L_w$ : Verdunstungswärme [ca. 2,45 MJ/kg]  
( $L_w = 2,501 - 0,002361 \cdot T_a$ )  
 $R_{\text{kos}}$ : kosmische Strahlung [mm/d]

## Verfahren nach ROMANENKO (1961)

$$ET_{\text{Pot-Rom}} = 0,0018 \cdot (25 + T_m)^2 \cdot (100 - F_{\text{mnmon}})$$

$T_m$ : Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]  
 $F_{\text{mnmon}}$ : Monatlicher Mittelwert der relativen Feuchtigkeit

## Verfahren nach PENMAN (1956)

### Klassische PENMAN-Beziehung

$$E_{\text{Pot-Pen}} = \frac{s}{s + \gamma} \cdot \frac{R_{\text{eff}}}{L_1} + \frac{\gamma}{s + \gamma} \cdot f(v) \cdot (\Delta e_s)$$

$s$ : Steigung der Dampfdruckkurve  
 $\gamma$ : Psychrometerkonstante [hPa/K]  
 $R_{\text{eff}} = (R_n - G)$ : effektive Strahlungsbilanz [W/m<sup>2</sup>]  
 $R_n$ : Strahlungsbilanz [W/m<sup>2</sup>]  
 $G$ : Bodenwärmestromdichte [W/m<sup>2</sup>]  
 $L_1$ : spezifische Verdunstungswärme für 1 mm Verdunstungshöhe [J/kg]  
 $f(v)$ : von Windgeschwindigkeit  $v$  und Bewuchshöhe abhängige Funktion  
 $\Delta e_s$ : Sättigungsdefizit abhängig von Lufttemperatur  $T$  und Dampfdruck  $e$  [hPa]

Da für die klassische PENMAN-Beziehung in der Regel die erforderlichen Eingangsdaten nicht verfügbar sind, müssen Vereinfachungen verwendet werden, um  $ET_{\text{Pot}}$ -Werte zu berechnen.

$$ET_{\text{Pot-Pen}} = g(T) \cdot \left( \frac{0,60 \cdot R_{\text{Gd}}}{L} + 0,66 \cdot (1 + 1,08 \cdot v_{m2}) \cdot \left( 1 - \frac{F_{\text{md}}}{100} \right) \cdot S_R \right)$$

$$\text{und } g(T) = \frac{s}{s + \gamma} \approx 2,3 \cdot \frac{T_m + 22}{T_m + 123}$$

$R_{\text{Gd}}$ : Tagessumme der Globalstrahlung [J/cm<sup>2</sup>]  
 $L$ : spezielle Verdunstungswärme [(J/cm<sup>2</sup>)/mm]  
 $v_{m2}$ : Tagesmittel der Windgeschwindigkeit in 2m Höhe [m/s]  
 $F_{\text{md}}$ : Tagesmittel der relativen Luftfeuchte [%]  
 $S_R$ : Verhältnis der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer zu der bei Tag- und Nachtgleiche (=  $S_0/12$ )  
 $T_m$ : Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]  
 $s$ : Steigung der Dampfdruckkurve  
 $\gamma$ : Psychrometerkonstante [hPa/K]

## Verfahren nach MAKKINK (1957)

$$ET_{\text{Pot-Mak}} = \frac{s}{s + \gamma} \cdot \left( c_{\text{Mak1}} \cdot \frac{R_G}{L_1} + c_{\text{Mak2}} \right)$$

s: Steigung der Dampfdruckkurve  
 γ: Psychrometerkonstante [hPa/K]  
 $c_{\text{Mak1}}$  und  $c_{\text{Mak2}}$ : empirische Konstanten  
 $R_G$ : Globalstrahlung [ $\text{J}/\text{cm}^2$ ]  
 $L_1$ : spezifische Verdunstungswärme für 1 mm Verdunstungshöhe

Tab.43: MAKKINK-Faktoren nach DVWK (1996)

$c_{\text{Mak1}}$	$c_{\text{Mak2}}$	
0,65	0	Niederlande (küstennah)
0,61	-0,12	Europa

## Verfahren nach PENMAN-MONTHEITH (MONTHEITH 1965)

$$ET_{\text{akt-PeMo}} = \frac{1}{L_1} \cdot \frac{s \cdot R_{\text{eff}} + \frac{\rho \cdot c_p}{r_a} \cdot (\Delta e_s)}{s + \gamma \cdot \left( 1 + \frac{r_{\text{ms}}}{r_a} \right)}$$

$ET_a$ : reelle Evapotranspiration  
 $L_1$ : spezifische Verdunstungswärme für 1 mm Verdunstungshöhe [ $\text{J}/\text{kg}$ ]  
 s: Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve  
 $R_{\text{eff}} = (R_n - G)$ : effektive Strahlungsbilanz  
 $R_n$ : Strahlungsbilanz [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 G: Bodenwärmestromdichte [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $\rho$ : Dichte der Luft [ $\text{kg}/\text{cm}^3$ ]  
 $c_p$ : spezifische Wärme der Luft bei konst. Druck [ $\text{J}/(\text{kg K})$ ]  
 $\Delta e_s$ : Sättigungsdefizit, abhängig von Lufttemperatur T und Dampfdruck e [hPa]  
 $r_a$ : aerodynamischer Widerstand [s/m]  
 $r_{\text{ms}}$ : mittlerer Bestandswiderstand (Stomatawiderstand) [s/m]  
 γ: Psychrometerkonstante [hPa/K]

Die Nettostrahlung ( $R_n$ ) berechnet sich nach:

$$R_n = (1 - \alpha) \cdot R_G - R_L$$

α: Albedo (Reflektionsvermögen der Landbedeckung)  
 $R_G$ : Globalstrahlung  
 $R_L$ : effektive langwellige Ausstrahlung

Der aerodynamische Widerstand  $r_a$  wird mit nachfolgender Gleichung ermittelt:

$$r_a = \frac{4,72 \cdot \left( \ln \left( \frac{z_{\text{Wm}}}{z_{\text{a0}}} \right) \right)^2}{1 + 0,54 \cdot v_w}$$

$z_{\text{Wm}}$ : Messhöhe der Windgeschwindigkeit  
 $z_{\text{a0}}$ : aerodynamische Rauigkeitslänge der Vegetation im Jahresverlauf  
 $v_w$ : Windgeschwindigkeit

Tab.44: Größenordnungen biologischer Widerstände (nach BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1996)

Widerstand	Symbol	Pflanzentyp	Größenordnung [s/cm]	Bemerkungen
Stomatawiderstand	$r_s$	Xerophyten	> 30	
		Mesophyten	1 - 2	
Grenzschichtwiderstand	$r_a$		0,3 - 1	kleine Blätter u. leichter Wind
Kutikulärer Widerstand	$r_k$	Xerophyten	40 - 400	
		Mesophyten	20 - 40	

Die PENMAN-Ansätze können über einen Korrekturfaktor an Waldflächen angepasst werden

$$ET_{\text{Pot-Wald}} = ET_{\text{mPot-Veg}} \cdot F(t)_{\text{Wald}}$$

$ET_{\text{Pot-Wald}}$  : Potentielle Evapotranspiration Wald [mm/d]

$ET_{\text{mPot-Veg}}$ : Potentielle Transpiration für Wald mit vegetationsbedecktem Anteil der Bodenoberfläche [mm/d]

$F(t)_{\text{Wald}}$ : Korrekturfaktor ( $F(t) < 1,4 - 1,6$ ) abhängig vom Waldtyp und phänologischen Stadium

Tab.45: Korrekturfaktoren für PENMAN-Berechnung, Waldbestände (nach ERNSTBERGER 1987)

	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov-Feb	Mrz
Fichte, jung	0,53	0,58	0,60	0,73	0,70	0,65	0,35	0,03	0,10
Fichte, mittelalt	0,53	0,58	0,65	0,75	0,75	0,65	0,35	0,03	0,10
Buche/Eiche alt	0,35	0,50	0,78	0,80	0,85	0,82	0,65	0,03	0,03
Buschbrache	0,53	0,60	0,92	0,90	0,88	0,80	0,70	0,30	0,30

### Verfahren nach THORNTHWAITE (1948)

$$ET_{\text{Pot-Tho}} = 0,533 \cdot n \cdot \frac{S_{0m}}{12} \cdot \left( \frac{10 \cdot T_{\text{mnday}}}{J_{\text{Tho}}} \right)^{a_{\text{Tho}}}$$

$n$ : Länge des gewählten Zeitintervalls [d]

$S_{0m}$ : mittlere tägliche astronomisch mögliche Sonnenscheindauer des Zeitintervalls [h]

$T_{\text{mnday}}$ : Mittelwert der Lufttemperatur für ein bestimmtes Zeitintervall (Tag, Monat) [°C]

Bei negativen Werten ist  $T=0$

$a_{\text{Tho}}, J_{\text{Tho}}$ : ortsabhängig, empirische Koeffizienten

$T_{\text{mJ}}$ : Jahresmitteltemperatur [°C]

Die Größen  $a_{\text{Tho}}$  und  $J_{\text{Tho}}$  müssen am jeweiligen Standort bestimmt werden:

$$J_{\text{Tho}} = \sum_{\text{Jan}}^{\text{Dez}} \left( \frac{T_{\text{mJ}}}{5} \right)^{1,514} \quad \text{und} \quad a_{\text{Tho}} = (0,0675 \cdot J_{\text{Tho}}^3 - 7,71 \cdot J_{\text{Tho}}^2 + 1792 \cdot J_{\text{Tho}} + 49239) \cdot 10^{-5}$$

## Verfahren nach TURC (1961)

$$ET_{\text{Pot-Tur}} = (c_{\text{Tur1}} + c_{\text{Tur2}} \cdot S_{0\text{md}}) \cdot n \cdot \frac{T_{\text{mnday}}}{(T_{\text{mnday}} + 15)}$$

n: Anzahl der Tage, für die die Verdunstung berechnet werden soll. Der Berechnungszeitraum sollte mindestens 10 bis 30 Tage lang sein

$S_{0\text{md}}$ : mittlere tägliche Sonnenscheindauer (h/d)

$T_{\text{mnday}}$ : Lufttemperatur (Mittel über n Tage) [°C]

$c_{\text{Tur1}}$ ,  $c_{\text{Tur2}}$ : TURC-Koeffizienten

Tab.46: Koeffizienten in der TURC-Formel

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
$c_{\text{Tur1}}$	1,09	1,40	1,86	2,36	2,76	3,00	2,93	2,58	2,10	1,57	1,19	1,02
$c_{\text{Tur2}}$	0,180	0,259	0,350	0,429	0,476	0,489	0,488	0,448	0,390	0,294	0,210	0,158

Bei  $ET_{\text{Pot}}$ -Werten <0,1 mm/d wird der Wert auf 0,1 mm/d gesetzt.

In der Literatur tauchen viele Varianten der TURC-Formel (TURC 1954) auf:

$$ET_{\text{Pot-Tur}} = \frac{N_J}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{N_J}{L(T)}\right)^2}} \quad \text{mit: } L(T) = 300 + 25 \cdot T_{\text{mJ}} + 0,05 \cdot T_{\text{mJ}}^3$$

$ET_{\text{Pot}}$ : jährliche Evapotranspiration [mm]

$N_J$ : jährliche Niederschlagshöhe [mm]

$T_{\text{mJ}}$ : Jahresmitteltemperatur [°C]

In vielen Lehrbüchern (z.B. KAPPAS 2009) wird die TURC-Formel auch wie folgt dargestellt:

$$ET_{\text{Pot-Tur}} = 0,0031 \cdot c_{\text{Tur}} \cdot (R_G + 209) \cdot \frac{T_m}{T_m + 15} \quad \text{mit } c_{\text{Tur}} = 1 + \frac{50 - F_{\text{md}}}{70} \quad \text{bei } F_{\text{md}} < 50\%,$$

$$c_{\text{Tur}} = 1 \quad \text{bei } F_{\text{md}} \geq 50\%$$

$R_G$ : Tagessumme der Globalstrahlung [ $\text{J}/\text{cm}^2$ ]

$T_m$ : Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]

$F_{\text{md}}$ : Tagesmittel der relativen Luftfeuchte [%]

Liegt die Globalstrahlung nicht als Messwert vor, kann sie aus der registrierten Sonnenscheindauer abgeschätzt werden:

$$R_G = R_0 \cdot \left( 0,19 + 0,55 \cdot \frac{S_d}{S_0} \right)$$

$R_0$ : extraterrestrische Strahlung [ $\text{J}/\text{m}^2$ ]

$S_d$ : Sonnenscheindauer des Tages [h]

$S_0$ : Tageswert der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer [h]

$$S_0 = 12,3 + \sin \zeta \cdot \left( 4,3 + \frac{\varphi - 51,0}{6} \right) \quad \text{mit } \zeta = 0,0172 \cdot \text{JT} - 1,39$$

$\varphi$ : geographische Breite

JT: Datum in fortlaufender Tageszählung

### Verfahren nach TURC-IVANOV (WENDLING & MÜLLER 1984)

In den Monaten November bis Februar gilt für die Berechnung der Monatssummen [mm]:

$$ET_{\text{Pot-Tulva}} = 0,0011 \cdot (T_m + 25)^2 \cdot (100 - F_{\text{md}})$$

$T_m$ : Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]

$F_{\text{md}}$ : Tagesmittel der relativen Luftfeuchte [%]

In KLIWA (2008) wurde das TURC/IVANOV-Verfahren nach Temperaturen differenziert:

$$ET_{\text{Pot-KLI}} = (R_G + 209) \cdot \frac{0,00311 \cdot T}{T \cdot 15} \quad \text{bei } T \geq 3^\circ\text{C}$$

$$ET_{\text{Pot-KLI}} = 0,000036 \cdot (25 + T)^2 \cdot (100 - F_d) \quad \text{bei } T < 3^\circ\text{C}$$

$ET_{\text{Pot}}$ : potentielle Verdunstung [mm/d]

$T$ : Lufttemperatur [°C]

$F_d$ : relative Luftfeuchte [%]

$R_G$ : Globalstrahlung in [J/cm<sup>2</sup>]

### Verfahren nach TURC-WENDLING (WENDLING ET AL. 1991)

$$ET_{\text{Pot-TuWe}} = \frac{(R_{\text{Gd}} + 93 \cdot f_k) \cdot (T_m + 22)}{150 \cdot (T_m + 123)}$$

$R_{\text{Gd}}$ : Tagessumme der Globalstrahlung [J/cm<sup>3</sup>]

$f_k$ : Küstenfaktor, im Küstenbereich von 50 km Breite als Mittelwert  $f_k=0,6$ , sonst  $f_k=1,0$

$T_m$ : Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]

## Spezielle Verdunstungsbetrachtungen

### Verdunstung freier Wasserflächen

Empirische Beziehung für freie Wasserflächen (Seen, Stauseen, Flüsse, Kanäle) nach RICHTER (1997):

$$E_{\text{Pot-Wfl}} = (0,327 \cdot \Delta e_m + 0,00055 \cdot R_{\text{mG}} - 0,035) \cdot n$$

$\Delta e_m$ : mittlerer Dampfdruckgradient [hPa]

$R_{\text{mG}}$ : mittlere Globalstrahlung [J/cm<sup>2</sup>]

$n$ : Anzahl der Tage (gültig für Dekaden- und Monatssummen)

für Tageswerte:

$$E_{\text{Pot-Wfl}} = (0,16 + 0,2 \cdot v_{\text{wfl}2}^{0,5}) \cdot \Delta e_m$$

$v_{\text{wfl}2}$ : Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe über der Wasserfläche, gültig für Tageswerte

## Verfahren nach PRIESTLEY-TAYLOR (1972)

$$ET_{\text{Pot-Pr-Ta}} = f_{\text{Pr-Ta}} \cdot \frac{s \cdot (R_n - G)}{s + \gamma}$$

$f_{\text{Pr-Ta}}$ : Priestley-Taylor Koeffizient = 1,26

$R_n$ : Strahlungsbilanz [W/m<sup>2</sup>]

$G$ : Bodenwärmestromdichte [W/m<sup>2</sup>]

$s$ : Steigung der Dampfdruckkurve

$\gamma$ : Psychrometerkonstante [hPa/K]

## Verfahren nach PRIESTLEY-TAYLOR, Modifikation nach FLINT & CHILDS (1991)

$$ET_{\text{Pot-Fl-Ch}} = f_{\text{Pr-Ta}} \cdot \frac{s \cdot (R_n - G)}{s + \gamma}$$

$f_{\text{Pr-Ta}}$ : Priestley-Taylor Koeffizient = 1,26

$R_n$ : Strahlungsbilanz [W/m<sup>2</sup>]

$G$ : Bodenwärmestromdichte [W/m<sup>2</sup>]

$s$ : Steigung der Dampfdruckkurve

$\gamma$ : Psychrometerkonstante [hPa/K]

Tab.47: PRIESTLEY-TAYLOR- Koeffizienten (FLINT & CHILDS 1991)

$f_{\text{Pr-Ta}}$	Oberflächen-Bedingungen	Quelle
1,57	Stark advective Bedingungen	JURY & TANNER (1975)
1,29	Gras (Boden bei Feldkapazität)	MUKAMMAL & NEUMANN (1977)
1,27	Bewässertes Weidelgras	DAVIES & ALLEN (1973)
1,26	Wassergesättigte Oberfläche	PRIESTLEY & TAYLOR (1972)
1,26	Offene Wasseroberfläche	PRIESTLEY & TAYLOR (1972)
1,26	Nasse Wiese	STEWART & ROUSE (1977)
1,18	Nasser Douglasien-Wald	MCNAUGHTON & SCHWARZ (1973)
1,12	Kurzes Gras	DE BRUIN & HOLTSLAG (1982)
1,05	Douglasien-Wald	MCNAUGHTON & SCHWARZ (1973)
1,04	Unbedeckte Bodenfläche	BARTON (1979)
0,84	Dichter Douglas-Tannenwald	BLACK (1979)
0,80	Ausgedünnter Douglas-Tannenwald	BLACK (1979)
0,73	Douglas-Tannenwald (am Tag)	GILES ET AL. (1984)
0,72	Fichtenwald (am Tag)	SHUTTLEWORTH & CALDER (1979)

## Verfahren nach MCNAUGHTON & BLACK (1973)

$$ET_{\text{Pot-Na-Bl}} = \frac{L_L \cdot \rho \cdot \Delta e}{\gamma \cdot r_c}$$

$L_L$  : spezifische Wärme der feuchten Luft [kJ/kg °C]

$\rho$ : Dichte der Luft [kg/m<sup>3</sup>]

$\Delta e$ : Dampfdruckdefizit [kPa]

$r_c$  : Oberflächenwiderstand des Kronendaches [s/m]

$\gamma$ : Psychrometerkonstante [hPa/K]

## Ermittlung der aktuellen Evapotranspiration

### FAO-Gras-Referenzverdunstung

Als Berechnungsgrundlage dient das PENMAN-MONTEITH-Verfahren:

$$ET_{\text{akt-GrasRef}} = \frac{0,408 \cdot s \cdot R_{\text{eff}} + \frac{900}{T + 273} \cdot v_2 \cdot (\Delta e_s)}{s + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot v_2)}$$

$ET_{\text{akt}}$ : aktuelle Evapotranspiration

$s$ : Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve

$R_{\text{eff}} = (R_n - G)$ : effektive Strahlungsbilanz

$R_n$ : Strahlungsbilanz [ $W/m^2$ ]

$G$ : Bodenwärmestromdichte [ $W/m^2$ ]

$T$ : Lufttemperatur

$v_2$ : Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe [m/s]

$\Delta e_s$ : Sättigungsdefizit, abhängig von Lufttemperatur  $T$  und Dampfdruck  $e$  [hPa]

$\gamma$ : Psychrometerkonstante [hPa/K]

### Methode nach RENGER & WESSOLEK (1990)

$$ET_{\text{akt}} = a_{RW} \cdot N_{So} + b_{RW} \cdot N_{Wi} + c_{RW} \cdot \log W_{Pfi} + d_{RW} \cdot ET_{\text{Por-Hau}} + e_{RW}$$

$N_{So}$ : Sommerniederschlag (Summe 01.04 bis 30.09) [mm]

$N_{Wi}$ : Winterniederschlag (Summe 01.10 bis 31.03 des Folgejahres) [mm]

$W_{Pfi}$ : pflanzenverfügbare Wassermenge im Boden ( $W_{Pfi}$  = nutzbare Feldkapazität (nFk) + kapillarer Aufstieg)

$ET_{\text{PotHau}}$ :  $ET_{\text{Pot}}$  nach HAUDE (Gras) in mm, Summe 01.04 bis 31.03. des Folgejahres

$a_{RW}$  -  $e_{RW}$ : standortspezifische Konstanten

Tab.48: Standortfaktoren bewachsener Flächen für Verfahren nach RENGER & WESSOLEK

Norddeutschland (DVWK 1996)	Bodennutzung	$a_{RW}$	$b_{RW}$	$c_{RW}$	$d_{RW}$	$e_{RW}$
	Ackerland	0,39	0,08	153	0,12	-109
	Grünland	0,48	0,10	286	0,10	-330
	Nadelwald	0,33	0,29	166	0,19	-127

### Verfahren nach WENDLING ET AL. (1984)

$$ET_{\text{akt},i} = N_i - (N_i - ET_{\text{Pot},i}) \cdot R_i$$

$$R_i = \frac{1 - \frac{PWP_m \cdot Z_{mw}}{W_i}}{1 - \frac{PWP_m \cdot Z_{mw}}{FK_{mw} \cdot Z_{mw}}} + 0,1 \cdot \frac{ET_{\text{mPot-Veg}}}{ET_{\text{Pot},i}}$$

$ET_{\text{Pot},i}$ : potentielle Evapotranspiration multipliziert mit Bestandskoeffizient [mm/d]

$N_i$ : Bestandsniederschlag [mm/d]

$W_i$ : Bodenwasservorrat im effektiven Wurzelraum zu Beginn des Tages [mm]

$FK_{mw}$ : mittlere Feldkapazität im effektiven Wurzelraum [%]

$PWP_m$ : mittlerer Welkepunkt im effektiven Wurzelraum [%]

$Z_{mw}$ : mittlere Wurzeltiefe [dm]

$ET_{\text{mPot-Veg}}$ : langjähriges Mittel  $ET_{\text{Pot}}$  in der Vegetationsperiode [mm/d]

## Ermittlung der Evaporation, Boden

### Ansatz von BELMANS ET AL. (1983)

$$EV_{\text{Pot-Bel}} = ET_{\text{Pot}} \cdot e^{-0,6 \cdot \text{BFI}}$$

$EV_{\text{Pot}}$ : potentielle Evaporation [m/d]

BFI: Blattflächenindex [-]

$ET_{\text{Pot}}$ : potentielle Evapotranspiration [m/d]

### Ansatz von BLACK ET AL. (1969)

$$EV_{\text{akt-Bla}} = 0,35 \cdot (\sqrt{t_d + 1} - \sqrt{t_d})$$

$EV_{\text{akt}}$ : aktuelle Bodenevaporation [cm/d]

$t_d$ : Anzahl der Trockentage seit dem letzten Niederschlagsereignis [-]

### Ansatz von RITCHIE (1972)

$$EV_{\text{Pot-RIC}} = \frac{s \cdot R_n \cdot e^{-0,39 \cdot \text{BFI}}}{(s + \gamma) \cdot L_L}$$

$EV_{\text{Pot}}$ : potentielle Evaporation [m/d]

BFI: Blattflächenindex [-]

$R_n$ : Nettostrahlung [ $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ]

$\gamma$ : Psychrometerkonstante [hPa/K]

$s$ : Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve

$L_L$ : spezifische Wärme der feuchten Luft [ $\text{kJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$ ]

### Quellen

- BARTON, I.J. (1973): A Parameterization of the Evaporation from a Non-Saturated Surface. - J. Appl. Meteor., 18: 43-47, 1979.
- BAUMGARTNER, A. & LIEBSCHER, H.-J. (Hrsg.) (1996): Allgemeine Hydrologie - Quantitative Hydrologie. - In: Lehrbuch der Hydrologie Bd. 1, 2. Auflage, Gebr. Borntraeger, Berlin-Stuttgart
- BELMANS, C., J.G. WESSELING AND R.A. FEDDES (1983): Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE. J. Hydrol. 63: 271-286.
- BLACK, T. A. (1979): Evapotranspiration from Douglas-Fir Stands Exposed to Soil Water Deficits. - Water Resour. Res., 15 (1): 164-170
- BLACK, T.A., GARDNER, W.R., THURTELL, G.W. (1969): The prediction of evaporation, drainage and soil water storage for a bare soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33, 655-660
- BLANEY, H.F. & W.D. CRIDDLE. (1950): Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data. USDA, SCS-TP-96, 50 p.
- DE BRUIN, H. A. R. & HOLTSTAG, A. A. M. (1982): A Simple Parameterization of the Surface Fluxes of Sensible and Latent Heat During Daytime Compared with the Penman- Monteith Concept. - J. Appl. Meteor., 21: 1610-1621.
- DAVIES, J. A. & ALLEN, C. D. (1973): Equilibrium, Potential, and Actual Evaporation from Cropped Surfaces in Southern Ontario. - J. Appl. Meteor., 12: 649-657.
- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. – DVWK-Merkblätter 238, 135 S.
- ERNSTBERGER, H. (1987): Einfluß der Landnutzung auf Verdunstung und Wasserbilanz: Bestimmung der aktuellen Evapotranspiration von unterschiedlich genutzten Standorten zur Ermittlung der Wasserbilanz in unteren Mittelgebirgslagen Hessens. - 189 S.; Kirchzarten
- FLINT, A. L. & CHILDS, S. W. (1991): Use of the Priestley-Taylor evaporation equation for soil water limited conditions in a small forest clearcut. - Agricultural and Forest Meteorology 56, 247-260.
- GILES, D. G., BLACK, T. G. & SPITTLEHOUSE, D. L. (1984): Determination of Growing Season Soil Water Deficits on a Forested Slope Using Water Balance Analysis. - Can. J. For. Res., 15: 107-114.
- Hamon, W.R. (1961): Estimating potential evapotranspiration. - Journal of Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers 871: 107-120.
- HAUDE, W. (1954): Zur praktischen Bestimmung des aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. – Mitt. Deutsch. Wetterdienst, Nr. 8, 21 S.

- HAUDE, W. (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. - Mitt. Dt. Wetterd. 2 (11)
- JURY, W. A. & TANNER, C. B. (1975): Advection Modification of the Priestley and Taylor Evapotranspiration Formula. - Agron. J., 67: 840-842.
- KAPPAS, M. (2009): Klimatologie, Klimaforschung im 21. Jahrhundert. Herausforderung für Natur- und Sozialwissenschaften. 356 S.
- KLIWA (2008): Langzeitverhalten von Sonnenscheindauer und Globalstrahlung sowie Verdunstung und klimatischer Wasserbilanz in Baden-Württemberg und Bayern. – KLIWA-Berichte Heft 12, 148 S.
- Linacre, E. T. (1977): A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. - *Agricultural Meteorology* **18**: 409–424.
- LÖPMEIER, F.-J. (1994): Berechnung der Bodenfeuchte und Verdunstung mittels agrarmeteorologischer Modelle. Zeitschrift f. Bewässerungswirtschaft, 29, 157–167.
- MAKKINK, G.F., (1957): Testing the Penman formula by means of lysimeters. International Journal of Water Engineering, 11: 277-288
- MCCAUGHTON, K. G. & BLACK, T. A. (1973): A Study of Evapotranspiration from a Douglas Fir Forest Using the Energy Balance Approach. - *Water Resour. Res.*, 9: 1579-1590.
- MONTHEITH, J. L. (1965): Evaporation and environment. – In GOGG, G.E. (ed.): Symposium of the Society for experimental biology, The State and Movement of Water in Living Organisms, Vol. 19, 205-234.
- MUKAMMAL, E. I. & NEUMANN, H. H. (1977): Application of the Priestley-Taylor Evaporation Model to Assess the Influence of Soil Moisture on the Evaporation from a Large Weighing Lysimeter and Class A Pan. - *Boundary-Lay. Met.*, 14: 243-256.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F. & Loumagne, C. (2005): Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model? Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall–runoff modelling. - *J. Hydrol.*, **303**, 290-306.
- PENMAN, H. L. (1956): Evaporation: An introductory survey. *Netherlands J. Agric. Sci.* 1:9-29, 87-97, 151-153.
- PRIESTLEY, C. H. B. & TAYLOR, R. J. (1972): On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. - *Monthly Weather Review*, 100: 81-92.
- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1990): Auswirkungen von Grundwasserabsenkung und Nutzungsänderungen auf die Grundwasserneubildung. – Mit. Inst. für Wasserwesen, Univ. der Bundeswehr München, 386: 295-307.
- RICHTER, D. (1997): Das Langzeitverhalten von Niederschlag und Verdunstung und dessen Auswirkung auf den Wasserhaushalt des Stechlinseegebietes, *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, 201, 1-126.
- RITCHIE, J.T. (1972): A model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Research*, 8 (5), 1204-1213
- Romanenko, V. A. (1961): Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area. - *Proceedings Ukrainian Hydrometeorological Research Institute (Kiev)*, 3.
- SCHRÖDTER, H (1985): Verdunstung : Anwendungsorientierte Messverfahren und Bestimmungsmethoden. – 186 S.. Springer-Verlag, Berlin.
- SHUTTLEWORTH, W. J., & CALDER, I. R. (1979): Has the Priestley-Taylor Equation Any Relevance to Forest Evaporation? - *J. Appl. Meteor.*, 18: 639-646.
- STEWART, R. B. & ROUSE, W. R. (1977): Substantiation of the Priestley-Taylor Parameter = 1.26 for Potential Evaporation in High Latitudes. - *J. Appl. Meteor.*, 16: 649-650.
- THORNTHWAITE, C.W. (1948): An approach toward a rational classification of climate. - *The Geogr. Rev.* 38 (1): 55-94.
- TURC, L. (1961): Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. – *Ann Agron. Paris* 12: 13-49.
- TURC L. (1954): Le bilan d' eau des sols. Relations entre les précipitations, l' évaporation, et l' écoulement, *Ann. Agr.*, 6, 5-131.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure), 1990: Meteorologische Messungen, Grundlagen. – VDI Richtlinien 3786, Blatt 1. Düsseldorf.
- WENDLING, U., MÜLLER, J. & SCHWEDE, K. 1984. Ergebnisse von Verdunstungsmessungen über Gras mit einem *offline*-Datenerfassungssystem. *Zeitschrift für Meteorologie*, 34:190–202
- WENDLING, U. & MÜLLER, J. (1984): Entwicklung eines Verfahrens zur rechnerischen Abschätzung der Verdunstung im Winter. – *Z. Meteorol.* 34:82-85
- WENDLING, U., SCHELLIN, H.-G. & THOMÄ, M. (1991): Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für Zwecke des agrarmeteorologischen Beratung. – *Z. Meteorol.*, 34: 82-85

## Waldbrand-Index

### ÅNGSTRÖM-Index (ÅNGSTRÖM 1972)

$$AI = \left( \frac{F_{13}}{20} \right) + \left( \frac{27 - T_{13}}{10} \right)$$

F<sub>13</sub>: relative Luftfeuchte um 13 Uhr [%]  
T<sub>13</sub>: Lufttemperatur um 13 Uhr [°C]

Tab.49: Ableitung der Wahrscheinlichkeit für ein Feuer aus dem Angström-Index

Indexwert	Wahrscheinlichkeit
AI > 4,0	Auftreten von Feuer unwahrscheinlich
4,0 < AI < 2,5	Ungünstige Bedingungen für ein Feuer
2,5 < AI < 2,0	Günstige Bedingungen für ein Feuer
AI < 2,0	Auftreten von Feuer sehr wahrscheinlich

### BAUMGARTNER-Index (BAUMGARTNER 1967)

$$BI = N_{5d} - ET_{pot-5d}$$

N<sub>5d</sub>: Niederschlagssumme für 5 Folgetage [mm]  
ET<sub>pot-5d</sub>: Potentielle Verdunstung (Summe für 5 Folgetage [mm])

Tab.50: Gefährdungsstufen des BAUMGARTNER-Index

Gefahrenstufen	1 (schwach)	2 (leicht)	3 (mäßig)	4 (stark)	5 (außergew. hoch)
<b>Monat</b>	Angaben in [mm]				
März	> 5	5 bis -3	-3 bis -9	-9 bis -15	< -15
April	> 3	3 bis -8	-8 bis -16	-16 bis -27	< -27
Mai	> -3	-3 bis -16	-16 bis -25	-25 bis -35	< -35
Juni	> -12	-12 bis -24	-24 bis -32	-32 bis -41	< -41
Juli	> -12	-12 bis -24	-24 bis -31	-31 bis -40	< -40
August	> -8	-8 bis -20	-20 bis -28	-28 bis -37	< -37
September	> -6	-6 bis -18	-18 bis -26	-26 bis -35	< -35
Oktober	> -6	-6 bis -18	-18 bis -26	-26 bis -35	< -35

### NESTEROV-Index (NESTEROV 1967)

$$NI = \sum_{i=1}^W (T_{13} - D_i) \cdot t_i$$

W: Anzahl der Tage seit dem letzten Niederschlag > 3mm  
T<sub>13</sub>: Lufttemperatur um 13 Uhr [°C]  
D<sub>i</sub>: Taupunkttemperatur [°C]

Tab.51: Ableitung der Brandgefahr aus dem Nesterov-Index

Stufe	Entzündungsindex	Klassifikation
1	0 – 300	Keine Feuergefahr
2	301 – 500	Geringe Feuergefahr
3	501 – 1.000	Mittlere Feuergefahr
4	1.001 – 4.000	Hohe Feuergefahr
5	4.000+	Außerordentliche Feuergefahr

### Waldbrandkennziffer nach KÄSE (1969)

$$WBKZ = \sum_{15,2}^{30,9} (t_{13} + 10) \cdot \Delta e_{13}$$

$t_{13}$ : Lufttemperatur um 13 Uhr [°C]

$\Delta e_{13}$ : Sättigungsdefizit um 13 Uhr [mm Hg]

Tab.52: Korrektur der Waldbrandkennziffer (WBKZ)

Korrektur	Vorgehensweise
Korrektur: Niederschlag (ab 1 mm/d)	
von 1 mm/d bis > 5 mm/d	(Bisherige WBKZ)/2
von 5 mm/d bis > 10 mm/d	(Bisherige WBKZ)/4
von 10 mm/d bis > 20 mm/d	(Bisherige WBKZ) = 0
ab 20 mm/d	(Bisherige WBKZ) = 0 und die Tageswerte der ersten drei Tage der neu aufgesetzten Summation werden halbiert
Korrektur: geschlossene Schneedecke (nach dem 15. Februar)	
Schneedecke: 1 Tag	(Bisherige WBKZ)/2
Schneedecke: 2 Tage	(Bisherige WBKZ)/4
Schneedecke: ab 3 Tage	(Bisherige WBKZ) = 0
Korrektur: Vegetationsstand	
phänologische Phase Blattentfaltung der Birke	(Bisherige WBKZ) * 3
nach Eintritt der phänologischen Phase Robinie erste Blüten: bis zum ersten Niederschlagsereignis mit mindestens 5 mm	(Bisherige WBKZ) * 2
Ersatzweise: Nach dem ersten Niederschlagsereignis mit mind. 5 mm (nach 14.08.) bzw. spätestens ab dem 01.09. bis zum Ende der Waldbrandgefährdeten Zeit	(Bisherige WBKZ)/2

Tab.53: Ableitung der Warnstufen und Waldbrand-Wahrscheinlichkeit nach KÄSE (1969)

Warnstufe	WBKZ [-]	Wahrscheinlichkeit [%]
Keine	≤ 500	< 3
1	501 – 2.000	3 – 20
2	2.001 – 4.000	20 – 39
3	4.001 – 7.000	40 – 69
4	> 7.000	≥ 60

**Quellen** (Stand 28.10.13)

Ångström, A. (1942): Riskerna för skogsbrand och deras beroende av väder och klimat (The risks for forest fires and their relation to weather and climate). - Svenska Skogsvirksomhetens tidskrift, Häfte IV:18.

Baumgartner, A., Raschke, E., Klemmer, L. & Waldmann, G. (1967): Waldbrände in Bayern 1950-1959. - Allg. Forst Z. 22, 220-222.

Käse, H. (1969): Ein Vorschlag für eine Methode zur Bestimmung und Vorhersage der Waldbrandgefährdung mit Hilfe komplexer Kennziffern. - Abh. meteorolog. Dienst der DDR 94, 68 pp.

Nesterov, V.G., 1949. Combustibility of the Forest and Methods for its Determination (in Russian). USSR State Industry Press

## **Annex 3: Glossar**

### **Arithmetisches Mittel**

Das arithmetische Mittel oder auch Durchschnitt ist ein Mittelwert, der als Quotient aus der Summe aller beobachteten Werte und der Anzahl der Werte definiert wird.

### **Bodenmatrix**

Die Bodenmatrix bezeichnet in der Bodenkunde die festen Bestandteile des Bodens ohne den Porenraum.

### **Grundwasserflurabstand**

Der Grundwasserflurabstand ist der lotrechte Abstand zwischen der Grundwasseroberfläche des oberen Grundwasserstockwerks und einem Punkt der Geländeoberfläche.

### **Kapillare Aufstiegshöhe**

Die kapillare Aufstiegshöhe oder auch Kapillarhub ist die Höhe, über die Wasser in Kapillaren (enge Röhren oder Poren) aus einer freien Wasseroberfläche (Grund- oder Stauwasser) aufsteigen kann. Das Wasser steigt umso höher, je geringer der Kapillardurchmesser ist. Der Kapillaraufstieg hat Bedeutung für die Pflanzenversorgung. Sandige und schwach lehmige Böden können hohe Wasserraten über begrenzte Höhen nachliefern. Dagegen sind die Aufstieghöhen in Tonböden größer, die Mengen jedoch kleiner.

### **Matrixpotential**

Das Matrixpotential gibt den energetischen Ausdruck für die Bindungsstärke einer Bezugsmenge Wasser an die Bodenmatrix an. Das Matrixpotential wirkt dem Gravitationspotential entgegen, d. h. Wasser kann sich auch entgegen der Schwerkraft bewegen. Der Betrag des Matrixpotentials wird häufig zur Beschreibung der Wasserspannung oder Saugspannung verwendet.

### **Median**

Der Median oder Zentralwert ist ein Mittelwert für Verteilungen. Der Median einer Anzahl von Werte ist die Zahl, die an der mittleren Stelle steht, wenn man die Werte nach der Größe ordnet. Allgemein teilt ein Median eine Anzahl von Werten in zwei Hälften, so dass die Werte in der einen Hälfte kleiner als der Medianwert sind, in der anderen größer.

### **Nutzbare Feldkapazität**

Die nutzbare Feldkapazität wird üblicherweise als der Wasservorrat eines Bodens angesehen, der von den Pflanzen genutzt werden kann. Sie wird durch den Wassergehalt bei Feldkapazität (pF-Wert: 1,8 – 2,5) und dem permanenten Welkepunkt (pF=4,2) begrenzt. In Lehm- und Schluffböden ist die nutzbare Feldkapazität am größten.

### **Perzentil**

Ein Perzentil ist ein Wert auf einer Skala von Null bis Hundert. Er gibt den Prozentsatz an Datensatzwerten an, der gleich oder niedriger als er selbst ist. Ein Perzentil wird oft genutzt, um Extremwerte einer Verteilung abzuschätzen.

### **Synoptische Wetterstationen**

Die synoptische Meteorologie ist ein Teilgebiet der Meteorologie, das sich mit der großräumigen Zusammenschau der Wetterzustände in ihrer räumlichen Verteilung und zeitlichen Änderung für einen gegebenen Zeitpunkt beschäftigt. Synopse bedeutet soviel wie Gesamtschau, Übersicht oder Überblick.

**Teufe**

Teufe ist der bergmännische Ausdruck für Tiefe oder Tiefenlage. Teufe ist der Abstand eines Punktes im Untergrund von der Geländeoberkante oder Normalnull (NN).

**Vorfluter**

In der Hydrologie und Hydrogeologie wird jede Art von natürlichen oder künstlichen Gewässern als Vorfluter bezeichnet, in denen Wasser in Form von Abwasser, Regenwasser oder Drainagewasser in ein Gewässer abfließen kann. Natürliche Vorfluter sind offene Fließgewässer, die Wasser aus anderen Gewässern, Grundwasserkörpern oder Abflusssystemen aufnehmen und ableiten.

**Xylem**

Das Xylem oder der Holzteil von höheren Pflanzen ist ein komplexes, holziges Leitgewebe, das dem Transport von Wasser und anorganischen Salzen durch die Pflanze dient. Es übernimmt auch eine Stützfunktion.

**Zonale Vegetation**

Zonale Vegetation ist die Vegetation, die dem Großklima eines ausgedehnten Gebietes entspricht, z. B. die Pflanzengesellschaften einer Steppen-, Laubwald- oder Nadelwaldzone.

Diese Broschüre ist gedruckt auf 100% Recyclingpapier  
zertifiziert mit dem Blauen Engel (RAL-UZ 14).  
Weitere Informationen zum Umweltzeichen  
unter [www.blauer-engel.de](http://www.blauer-engel.de)

**Kontakt:**

Climate Service Center  
Fischertwiete 1  
20095 Hamburg

Tel. 040-226 338-424  
Fax. 040-226 338-163

[www.climate-service-center.de](http://www.climate-service-center.de)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung