



INFOR-Projekt Nr. 140

**“Water Footprint” – Begleitung und Einflussnahme auf
die Methodikentwicklung zur Bestimmung des virtuellen
Wasserverbrauchs in der Papierindustrie**

Schlussbericht

April 2012

Papiertechnische Stiftung (PTS),
München

Dr. Frank Miletzky

Projektleiter:
Dr. Hans-Jürgen Öller

INFOR-Projekt Nr. 140

**“Water Footprint” - Begleitung und
Einflussnahme auf die Methodikentwicklung
zur Bestimmung des virtuellen Wasser-
verbrauchs in der Papierindustrie**

INFOR-Projekt Nr. 140

**“Water Footprint” - Begleitung und
Einflussnahme auf die Methodikentwicklung
zur Bestimmung des virtuellen Wasser-
verbrauchs in der Papierindustrie**

Abschlussbericht

Forschungsstelle

Papiertechnische Stiftung (PTS), München

Dr. Hans-Jürgen Öller

Laufzeit: 01.01.2010 - 31.12.2010

München, April 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Ausgangssituation und Problemstellung.....	6
3	Zielstellung.....	8
4	Lösungsweg und Vorgehen.....	9
4.1	Literaturrecherche	9
4.2	Teilnahme an Veranstaltungen.....	9
4.3	Mitgliedschaft im Water Footprint Network	10
4.4	Gliederung der Ergebniskapitel 510	10
5	Das Water Footprint-Konzept.....	11
5.1	Relevante Literatur	11
5.2	Einleitung	12
5.3	Elemente des Water Footprints	12
5.4	Das Water Footprint-Network (WFN)	13
6	Berechnung des Water Footprint für Papierprodukte	15
6.1	Vorbemerkungen.....	15
6.2	Grüner und blauer Water Footprint.....	16
6.2.1	Berechnungsformeln.....	17
6.2.2	Datengrundlagen.....	18
6.2.3	Fazit	21
6.3	Grauer Water Footprint	22
6.3.1	Berechnungsformeln.....	22
6.3.2	Datengrundlagen.....	25
6.3.3	Fazit	28
7	Ergebnisse aus Pilotprojekten der Industrie	29
7.1	Vorbemerkung	29
7.2	Diplomarbeit Kellner	29
7.3	UPM Kymmene Corporation.....	33
7.4	Stora Enso	36
7.5	Weitere Publikationen, Aktivitäten & Statements von Firmen und NGOs	40
8	Normung Water Footprint	44
9	Identifizierte Schwachstellen und kritisierte Punkte	46
10	Fazit und Handlungsempfehlungen	49
10.1	Aktive Begleitung der weiteren Entwicklungen	49
10.2	Empfehlungen	50
11	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	51
12	Abkürzungsverzeichnis.....	52
13	Literaturverzeichnis	54

1 Zusammenfassung

Projektziel Das Vorhaben hatte zum Ziel, die laufenden Methodenentwicklungen und Normungsvorhaben zu beobachten, zu bewerten und Hinweise zur politischen Diskussion abzuleiten. Es sollte herausgearbeitet werden, welche Punkte im aktuellen WF-Konzept für deutsche Papierfabriken besonders interessant sind. Der Ansatz des WF-Konzeptes als solcher sollte hinterfragt und bewertet werden.

Zielgruppen Da das WF-Konzept „produktunabhängig“ ist, wird allen Branchenbereichen die stärkste Nutzbarkeit zugeordnet:

Tabelle 1: Zielgruppen im INFOR-Projekt Nr. 140

Grad der Nutzbarkeit in verschiedenen Branchenbereichen →	1	2	3	4	5 (stärkste Nutzbarkeit)
Graphische Papiere					
Verpackungspapiere					
Hygienepapiere					
Spezialpapiere					

Lösungsweg Gemäß der Zielstellung wurde das Vorhaben als theoretische Studie angelegt und durchgeführt. Die Beschaffung der erforderlichen Publikationen und Daten erfolgte durch:

- Literaturrecherche, Auswertung und Bewertung
- Teilnahme an Veranstaltungen
- Mitgliedschaft der PTS im Water Footprint Network

Die Projektbearbeitung über das Jahr 2010 hinaus ermöglichte, alle wichtigen und aktuellen Dokumente, z. B. Pilotstudien der Industrie, im vorliegenden Abschlussbericht zu berücksichtigen.

Ergebnisse Erst während der Projektlaufzeit und im Folgejahr wurden relevante Publikationen und Studien zur Water Footprint-Berechnung bei Zellstoff- und Papierprodukten veröffentlicht. Es hat sich gezeigt, dass die Berechnungsgrundlagen an vielen Stellen Schwächen aufweisen und die bisher veröffentlichten Daten nach wie vor in Frage gestellt werden müssen. Die Kritik richtet sich insbesondere an:

- **Starke Datenaggregation:** überregionale Evapotranspirationsraten ET_a ; **viele Vereinfachungen:** nur wenige Baumarten berücksichtigt; **für Deutschland nicht zutreffende Annahmen:** Recyclingraten in verschiedenen Produkten; **fehlende Datengrundlagen:** Parameter- bzw. Spurenstoffkonzentrationen in Fließgewässern.
- **WF_{green} & WF_{blue}** sind beim Baumwachstum **nur als Summe** quantifizierbar.
- **Wichtige Aufgaben/Rollen** (Schutz vor Erosion und Überflutung, Wasser- und Luftreinigung, CO_2 -Fixierung, etc.) **des Waldes vor der Holznutzung** werden im **WF_{green} nicht berücksichtigt**.
- Die **Sinnfälligkeit der Berücksichtigung von WF_{green} als Bestandteil des natürlichen Wasserkreislaufs** im **WF_{total}** muss im Falle von „Holzprodukten“

überprüft werden. Hier reicht das derzeitige Modell bei weitem nicht aus, um die in natürlichen Ökosystemen gegebenen Verhältnisse korrekt abzubilden.

- Der **WF_{grey} -Ansatz kann unterschiedlich interpretiert werden**, infolge dessen resultieren, je nach Auslegung, Werte von 0 bis mehrere Hundert oder gar Tausend m^3/t_{Papier} . Es ist deshalb zwingend erforderlich, eine abgestimmte, einheitliche und verbindliche Vorgehensweise zu erarbeiten.
- **Fraglich ist, ob chemische Summenparameter** oder Spurenstoffkonzentrationen **geeignet sind, die Umweltwirkungen der Abwassereinleitung ausreichend zu beschreiben**.
- Der **Bezug auf den kritischsten Parameter im WF_{grey} stellt die Erfolge der Papierindustrie** hinsichtlich des erreichten hohen Standards **in Frage**.
- Aufgrund des komplexen Zusammenspiels von grünen, blauen, grauen, indirekten und direkten Anteilen am WF_{total} **besitzt ein alleiniger WF_{total} -Wert praktisch keine Aussagekraft**. Der **WF ist zwingend vor dem Hintergrund der jeweiligen lokalen Gegebenheiten** wie Wasserqualität/-verfügbarkeit, Umweltqualitätsanforderungen, klimatische/hydrogeologische Verhältnisse, saisonale Einflüsse/Besonderheiten etc. **zu interpretieren und hinsichtlich seiner Umweltwirkungen zu bewerten**.

Grundsätzlich ist das WF-Konzept ein Ansatz, den Wasserverbrauch/-gebrauch in der Wertschöpfungskette zu analysieren. Da aber in der derzeitigen Fassung noch eine **Vielzahl von Schwächen und offenen Fragen vorliegt, ist eine Weiterentwicklung unter Mitwirkung der Zellstoff- und Papierindustrie und insbesondere im Hinblick auf den WF_{green} durch Forstökologen und Waldbesitzer zwingend erforderlich**. Dies betrifft auch die **korrekte Bewertung der mathematisch erfassten „Wasserverbräuche“ hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen**.

Anwendung und wirtschaftliche Bedeutung

Die für die Papierindustrie noch weiter zu entwickelnde Methodik zur Bestimmung des Water Footprints dient zukünftig u. U., nach umfangreicher Datenerhebung, für Benchmarkzwecke und kann als wertvolle Argumentationsgrundlage für die politische Diskussion zum „virtual water trade“ im Rahmen der Nachhaltigkeitsdebatte herangezogen werden. Da das WF-Konzept in der politischen Diskussion einen immer breiteren Raum einnimmt, ist eine vergleichbare Entwicklung analog dem CO₂-Zertifikatehandel, mit seinen erheblichen finanziellen Auswirkungen auf die meisten Papiererzeuger, nicht auszuschließen.

Danksagung & Förderung

Der Autor dankt dem Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP für die Förderung des INFOR-Projekts Nr. 140. Ein besonderer Dank richtet sich auch an alle Mitglieder des Projektbegleitenden Ausschusses PBA (in alphabetischer Reihenfolge)

- Dipl.-Ing. Klaus Barduna, Stora Enso Deutschland GmbH, Düsseldorf,
- Dr. Wilhelm Demharter, UPM Kymmene Corporation, Augsburg (Sprecher),
- Dr.-Ing. Udo Hamm, PMV der TU Darmstadt, Darmstadt (Sprecher),
- Dr. Klaus Kibat, VDP e. V., Bonn und
- Dr. Reinhardt Thiel, VDP e. V., Bonn

für die Diskussionsbereitschaft und die wertvollen Hinweise während der Projektbearbeitung.

2 Ausgangssituation und Problemstellung

Erste WF-Werte für Papier

Mitte/Ende des letzten Jahrzehnts erschienen die ersten WF-Werte zu Papierprodukten im Internet bzw. in der Presse. Diese standen in krassem Widerspruch zu den in der Branche bisher veröffentlichten Werten zu den Wassergebrauchsmengen bzw. spezifischen Abwassermengen (s. [1] und entsprechende Vorgängerpublikationen).

Seitens des Water Footprint-Network (WFN) wurde für eine verbraucherbekannte Menge von **500 Blatt A4-Papier (80 g/m²), das aus Frischfasern (Zellstoff) hergestellt wird, ein WF-Wert von 5.000 l publiziert, entsprechend 10 l pro Blatt Papier**. Seinerzeit waren auf der WFN-Webseite keinerlei Randbedingungen angegeben, die dem interessierten Leser das Nachvollziehen des o. g. Wertes ermöglichte. Auch eine persönliche Nachfrage des Autors beim Erfinder des Water Footprint A. Y. Hoekstra während der WF Reporting Konferenz im Mai 2009 in Brüssel erbrachte keine nachvollziehbaren Randbedingungen. Zwischenzeitlich sind die Angaben auf der WFN-Webseite konkretisiert und basieren auf einem eigens für Papierprodukte entwickelten Berechnungsmodell für den blauen und grünen Water Footprint [2] (s. a. Kap. 6.1). Darüber hinaus wird für das o. g. Papier ein Bereich von 2 ... 30 l angegeben. Der konkrete Wert wird also durch die Randbedingungen (Holzart, Holzertrag, Klimazone etc.) stark beeinflusst.

Ergänzend zum WF für Papier aus Frischfasern gab die Vereinigung Deutscher Gewässerschutz e. V. auf ihrer Webseite für **Papier aus Altpapier einen Wert von 20 l je kg Papier** an. Für ein **DIN A4-Blatt (80 g/m²) resultiert demnach ein Wert von 0,10 l**. Auch hier mangelt es (immer noch) an der Wiedergabe der Berechnungsgrundlage und der wesentlichen Randbedingungen [3].

Datenlage bei Projektbeantragung völlig unbefriedigend

Zum Zeitpunkt der Projektbeantragung Anfang bzw. Sommer 2009 herrschte völlige Unklarheit darüber, auf Basis welcher Grundlagen, Randbedingungen und Berechnungsmodalitäten die o. g. WF-Werte zustande gekommen sind. Sogar die Vereinigung Deutscher Gewässerschutz e. V., die den WF-Wert für Papiere aus Altpapier veröffentlichte, konstatierte, dass bei der Berechnung des WF erhebliche Unsicherheiten bestehen und die errechneten Werte darüber hinaus auf statistisch fragwürdigem Zahlenmaterial beruhen. Die Systematik zur Datenerhebung für virtuelle Wasserverbrauchswerte unterscheide sich von Fall zu Fall signifikant, was die Seriosität und Vergleichbarkeit dieser Zahlenwerte in Frage stellte. Die Datenlage war aus Sicht der Antragsteller und der deutschen Papierindustrie daher generell sehr unbefriedigend.

Die Angaben zum Wassereinsatz hatten in der Folge eine sehr große Bandbreite. Diese Unsicherheiten zeigten, dass keine systematische Vorgehensweise zur Bestimmung des virtuellen Wasserbedarfs in der Papierindustrie existierte. Damit wurde auch das mögliche Dilemma für die stoffliche Holzverwertung einschließlich Fasererzeugung offenkundig.

Berücksichtigung deutscher Belange?

Bei der Papierproduktion ist vor allem der Verbrauch an Holz, Wasser und Energie Gegenstand der umweltpolitischen Diskussion. Rund 20 % des weltweit eingeschlagenen Holzes werden zu Papier verarbeitet. In Deutschland wird aller-

dings praktisch ausschließlich so genanntes „Durchforstungsholz“, Sturmholz oder Sägerestholz verwendet. Zur Papierherstellung können unterschiedlichste Holzsorten verwendet werden. Der Holzverbrauch zur Herstellung von Zell- und Holzstoff hängt zudem sehr stark von der jeweils eingesetzten Technologie und von der gewünschten Faserqualität und vom Holzangebot ab. Demnach werden pro Tonne fertigen Zellstoffs je nach Bleichverfahren 1,67 - 2,33 t Holz und bei der Holzstoffherstellung 1,02 - 1,11 t Holz pro t Holzstoff verbraucht.

Die Herstellung von Papieren aus Altpapier ist mit keinem direkten Holzverbrauch verbunden, fußt aber auf vorangegangener Nutzung von Holz. Die Bedeutung von Altpapier als Faserstoff für die deutsche Papierindustrie muss an dieser Stelle nicht noch einmal ausgeführt werden. Es war unklar, inwieweit diese Randbedingungen bei der Ermittlung der verschiedenen Anteile „grünes“, „blaues“ und „graues“ Wasser (s. Kap. 5) in die publizierten WF-Werte eingeflossen waren.

WF-Konzept als Ganzes ist weitgehend unbekannt

Die publizierten alleinigen WF-Zahlenwerte sind nur ein kleiner – wenn auch nicht zu unterschätzender – Bestandteil des gesamten Water Footprint-Konzeptes. Allerdings sind diese äußerst öffentlichkeitswirksam und rücken nicht nur die Papierindustrie, sondern auch andere Branchen in ein meist nicht gerechtfertigtes schlechtes Licht.

Der breiten Öffentlichkeit und auch Teilen der Fachwelt war und ist jedoch meist immer noch verborgen, dass sich hinter dem WF-Wert zum einen verschiedene „Wasserqualitäten“ verbergen und dass sich der graue Wasseranteil in seiner Bedeutung von den grünen und blauen Anteilen völlig unterscheidet. Über dies hinaus und darin dürften sich zukünftig wohl die wesentlichen Ziele des Water Footprint-Konzeptes entfalten, kommt der Interpretation der verschiedenen WF-Anteile und den daraus abgeleiteten Maßnahmen für ein verbessertes nachhaltiges Wassermanagement größte Bedeutung zu.

Voraussetzung für die letztgenannten Schritte sind jedoch „korrekt“ berechnete WF-Werte und es müssen die zugrunde gelegten Randbedingungen und Annahmen offen gelegt werden und nachvollziehbar sein.

3 Zielstellung

Vorbemerkung:
Anpassung der
Projektziele, da
WF-Konzept
während der
Projektbearbei-
tung ständig
weiterentwickelt
wird

Die oben angerissenen Unzulänglichkeiten, die seinerzeit noch nicht ausgereiften bzw. nicht auf Produkte aller Art übertragbaren Berechnungsmodalitäten wurden und werden permanent weiterentwickelt. Dies gilt insbesondere auch für Produkte der Zellstoff- und Papierindustrie bzw. der Forstwirtschaft im Allgemeinen. Mit dem Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Antragstellung wurden daher Vorhabensziele formuliert, deren Inhalte im Lichte neuer Erkenntnisse auf der 1. Projektbegleitersitzung am 18.03.2010 angepasst wurden. Diese sind im Folgenden wiedergegeben.

Mit Projektbeglei-
tern abgestimmte
Ziele

Gemäß dem Protokoll zur 1. Projektbegleiter-Sitzung wurden folgende Ziele formuliert:

- Beobachtung & Begleitung der laufenden Methodenentwicklungen und Normungsvorhaben und ggf. Einflussnahme.
 - Anstöße/Hinweise geben zur politischen Diskussion.
 - Welche Punkte sind für deutsche Papierfabriken besonders interessant?
 - Der Ansatz des WF-Konzeptes soll hinterfragt und bewertet werden.
-

4 Lösungsweg und Vorgehen

Grundsätzliches	Gemäß der Zielstellung wurde das Vorhaben als theoretische Studie angelegt und durchgeführt, die im Wesentlichen auf folgenden Eckpfeilern beruht: • Literaturrecherche, Auswertung und Bewertung • Teilnahme an Veranstaltungen • Mitgliedschaft der PTS im Water Footprint Network In Abstimmung mit den Projektbegleitern wurden eigene Berechnungen zu WF-Werten explizit ausgeklammert. Fallweise wurden publizierte Daten nachbearbeitet, um eine vergleichende und kritische Betrachtung zu ermöglichen.
------------------------	---

4.1 Literaturrecherche

Recherche und Auswertung	Bereits zur Antragsstellung erfolgte der Aufbau einer umfangreichen Literatursammlung, die im Zuge des Vorhabens ständig auf dem aktuellen Stand gehalten und ausgewertet wurde. Papierspezifische Literaturstellen mit nachvollziehbaren Angaben waren bis zum Projektstart praktisch nicht vorhanden. Die wichtigsten Dokumente wurden erst in den Jahren 2010 und 2011 publiziert und sind als Übersicht unter Kap. 5.1 der eigentlichen Ergebnisdiskussion vorangestellt.
ISO-Dokumente	Die Unterlagen/Arbeitsentwürfe zum Normungsprozess ISO 14046 wurden dankenswerterweise von Herrn Dr. Thiel zur Verfügung gestellt.

4.2 Teilnahme an Veranstaltungen

Vor Projektstart	Bereits im Jahr der Antragstellung 2009 nahm der Autor an folgenden Veranstaltungen teil • Water Footprint Reporting Conference, Brüssel, 06. - 07.05.2009 • CEPI Open Seminar "Water Footprinting – The Next Big Thing?", Brüssel, 18.11.2009 und erhielt dadurch über Literaturkenntnisse hinaus weitere Einblicke in das WF-Konzept, in laufende Aktivitäten und in das WF-Netzwerk. Die kurz nach Etablierung des WFN noch vorherrschenden Unsicherheiten im Umgang mit der Methodik und den Berechnungsprozeduren wurde z. B. dadurch deutlich, dass Coca-Cola Europe auf der WF Reporting Conference bereits einen ersten WF-Wert von 2,2 l/l Coca-Cola angab, dem gegenüber eine Abschätzung seitens des WFN von 2.500 l/l stand. In einem weiteren Vortrag seitens Coca-Cola Europe beim CEPI Open Seminar wurde ausgesagt, dass die Berechnungen noch im Gange seien, der Wert vom Frühjahr war also wieder zurückgezogen worden. Zwischenzeitlich ist das Vorhaben abgeschlossen und ein Wert von 70 l/l publiziert [4].
-------------------------	--

WF training course	Das WFN bietet in unregelmäßigen Zeitabständen eine WF-Schulung an, die eine tiefergehende Einführung sowohl in das WF-Konzept als auch in die Berechnungsprozeduren umfasst. Der Autor nahm vom 16. bis 18.02.2010 an einer derartigen Schulung in Amsterdam teil.
---------------------------	---

4.3 Mitgliedschaft im Water Footprint Network

Mitgliedschaft im Water Footprint Network	Zentraler Bestandteil bei der Projektbearbeitung war und ist die Mitgliedschaft der PTS im WFN, die im Februar 2010 erfolgte. Hierdurch wurde ein direkter Zugang zu allen laufenden und aktuellen Aktivitäten im Kreise des WFN und seinen Mitgliedsunternehmen/-institutionen geschaffen. Die Vorteile einer Mitgliedschaft liegen auf der Hand und sind bereits auf der WFN-Internetseite (s. Abbildung 1) beschrieben.
--	--

Why become a Water Footprint Network partner?

As a partner you

1. Get exclusive early access to technical information, knowledge, tools and communications on water footprint before it enters into the public domain*.
2. Can participate in, contribute to and learn from collaboratively executed and funded projects and make the most of the limited resources and technical capacities available.
3. Have preferential access to the best available methodology, technical resources and experts on water footprint.
4. Contribute to research, development and policy agendas on water footprint.

* The Water Footprint Network is based on open-source philosophy. This means that any result of research and development projects be available in the public domain once concluded. As a partner you will have the opportunity to have access to this information, have the opportunity to actively get involved in the R&D projects and have access to water footprint experts while being involved in projects.

Abbildung 1: Vorteile als WFN-Mitglied

4.4 Gliederung der Ergebniskapitel 5 bis 10

Kap. 5	„Das Water Footprint-Konzept“: Einführung in das WF-Konzept sowie Informationen zum Water Footprint-Network.
Kap. 6	„Berechnung des Water Footprint für Papierprodukte“: die Berechnung von WF_{green} , WF_{blue} und WF_{grey} wird ausführlich dargestellt und analysiert.
Kap. 7	„Ergebnisse aus Pilotprojekten der Industrie“: knappe Wiedergabe von Projektergebnissen der Industrie
Kap. 8	„Normung Water Footprint“ enthält Hintergrundinfos zum Normungsprozess ISO 14046.
Kap. 9	„Identifizierte Schwachstellen und kritisierte Punkte“ fasst die wichtigsten Ergebnisse aus Kap. 6 bis 8 nochmals zusammen.
Kap. 10	„Fazit und Handlungsempfehlungen“

5 Das Water Footprint-Konzept

5.1 Relevante Literatur

Übersicht

Neben „allgemeiner“ Literatur zur WF-Methodik

- Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. (2008) Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources, Blackwell Publishing, Oxford, UK. [5]
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aladaya, M. M. and Mekonnen, M. M. (2009): Water Footprint Manual – State of the Art 2009, Water Footprint Report 2009, Water Footprint Network (ed.) [19]
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. (2011): The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan Ltd, London, UK, 203 p. [7]

wurden folgende Quellen mit Bezug zur Zellstoff- und Papierindustrie als wichtigste Dokumente identifiziert und ausgewertet:

- Kellner, K. (2010): The Water Footprint of Paper Products, Diplomarbeit, 104 S., Universität für Bodenkultur Wien, Inst. f. Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz [15]
- Van Oel, P. R. and Hoekstra, A. Y. (2010): The green and blue water footprint of paper products: methodological considerations and quantification, Value of Water Research Report Series No. 46, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands [2]
- N.N., From Forest to paper, the story of our water footprint; A case study for the UPM Nordland Papier mill, August 2011, UPM Kymmene (ed.), 21 p., [20]
- N.N., Case Study on the Water Footprint of Stora Enso's Skoghall Mill – Report to the Alliance for Beverage Cartons and the Environment (ACE) and WWF, published 28 September 2011, 15 p., [23]
- Svending O., A Water Footprint Study at Stora Enso Skoghall Mill – results and recommendations
IN: PTS Umwelt-Symposium 2011, 08. – 10.11.2011, München, H.-J. Öller, S. Bierbaum, A. Hutter (Hrsgb.) [24]
- Van Oel P. R. and A. Y Hoekstra, Towards Quantification of the Water Footprint of Paper - A First Estimate of its Consumptive Component, Water Resource Management, 17 p. published online: 16 November 2011 [6]

Darüber hinaus sind sämtliche betrachteten Quellen im Literaturverzeichnis unter Kap. 13 aufgeführt.

5.2 Einleitung

Fokus auf direkten Water Footprint in der Papierherstellung

Im vorliegenden Projekt und in den nachfolgenden Ausführungen steht vor allem die Produkt bezogene Betrachtung im Vordergrund, wobei speziell auf den direkten Water Footprint im Papierherstellungsprozess eingegangen wird. Dennoch werden die indirekten WF-Anteile aus den Vorprozessen der Papierherstellung zum besseren Verständnis mit betrachtet und erläutert.

Berücksichtigung von Wasserverbrauch und -verschmutzung

Der Water Footprint (WF) beschreibt die gesamte Menge an Frischwasser, die zur Erzeugung eines Produktes entlang seiner Prozesskette oder einer Dienstleistung aufgewendet wird. Bestimmt bzw. berechnet werden die Mengen an verbrauchtem (verdunstet, im Produkt enthalten) und an verunreinigtem Wasser (= Abwasser). Der WF lässt sich für Kontinente, Länder, Städte/Gemeinden, einzelne Personen, Prozess oder Produkt bezogen berechnen.

Bewertung des Water Footprint

Neben der rein zahlenmäßigen Ermittlung des WF-Wertes kommt seiner Bewertung in der Kurzformel „wo, wieviel, innerhalb welchen Zeitraumes, welche WF-Anteile verbraucht werden“, erhebliche Bedeutung zu. Nur so lassen sich Umweltwirkungen ausmachen und erforderlichenfalls Gegen- und Verbesserungsmaßnahmen ableiten. Dieser Bewertungsprozess ist allerdings äußerst komplex und zudem aktuell auch noch Gegenstand der Normungsaktivitäten (s. Kap. 8). Eine ausführliche Beschreibung und Diskussion des Bewertungsprozesses würde den Rahmen dieses Projektes sprengen, so dass nur an einigen Stellen kurz darauf eingegangen wird.

5.3 Elemente des Water Footprints

Wasserqualitäten

Der WF setzt sich im Wesentlichen aus drei unterschiedlichen „Wasserqualitäten“ zusammen:

- WF_{green} : Regen-/Niederschlagswasser,
- WF_{blue} : Oberflächen-/Grundwasser und
- WF_{grey} : „Abwasser“.

Fossiles Grundwasser, häufig als „ WF_{black} “ bezeichnet, spielt gegebenenfalls nur in der Mineralbrunnenindustrie eine Rolle.

Direkter und indirekter WF

Bei der Berechnung gehen die WF-Werte der Vorprodukte (z. B. Zellstoffe, Additive, etc.) als indirekte WF-Werte und die Wasserverbräuche und -gebräuche im betrachteten Herstellungsprozess des Produktes als direkter WF in die Summe mit ein ([7], s. **Abbildung 2**).

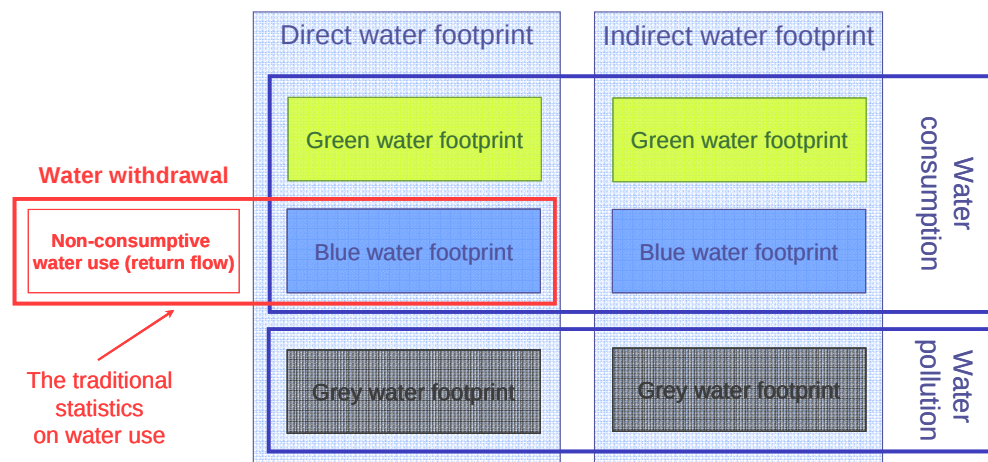


Abbildung 2: Komponenten des Water Footprint ([7], überarbeitet)

Der Abwasserabfluss wird nicht im Sinne eines Wasserverbrauchs betrachtet und ist damit nicht Bestandteil der verbrauchten Anteile in WF_{green} und WF_{blue} . Er findet sich aber, wie später noch gezeigt wird (s. Kap. 6.3), im WF_{grey} wieder.

5.4 Das Water Footprint-Network (WFN)

Gründung

Das WFN wurde am 16.10.2008 in London von

- University of Twente (NL),
- WWF (CH),
- UNESCO-IHE Institute for Water Education (NL),
- Water Neutral Foundation (ZA),
- World Business Council for Sustainable Development (CH),
- International Finance Corporation (US)
- und Netherlands Water Partnership (NL)

als Gründungsmitglieder aus der Taufe gehoben. Diese Gründungsmitglieder zählen nun zur Gruppe der „Sponsoring Partners“. Bei Gründung gab es bereits zehn „Regular Partners“, z. B. Alliance for Water Stewardship, The Coca-Cola Company, Nestlé Ltd., SAB Miller etc.

Mitglieder- entwicklung

Rund 1 ¼ Jahre nach der Gründung übersprang die Mitgliederanzahl bereits die 100-Mitgliedermarke. Derzeit (Stand Okt. 2011), also knapp drei Jahre nach der Gründung, hat das WFN rund 150 Mitglieder. Die Entwicklung der Mitgliederanzahl dürfte in den kommenden Jahren weiter stagnieren.

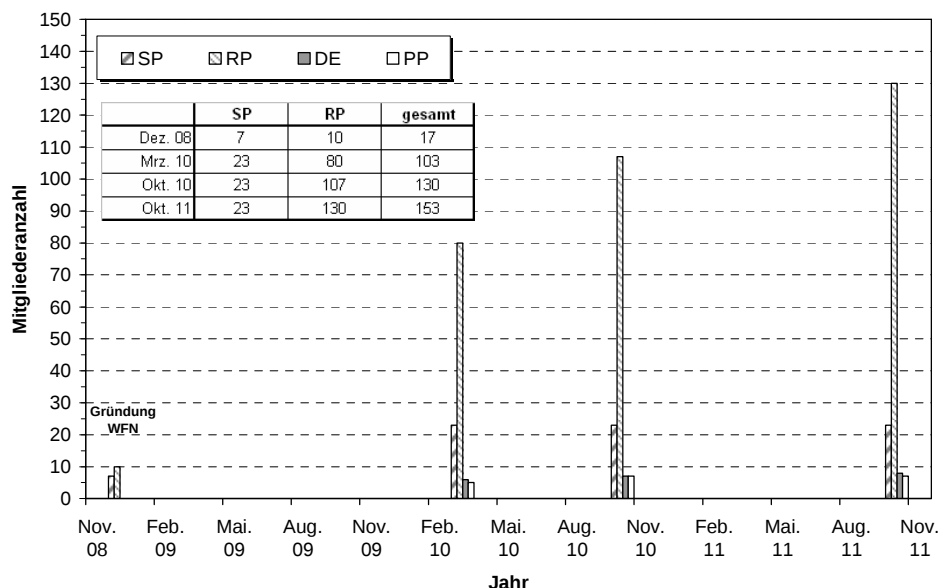


Abbildung 3: Entwicklung der Mitgliederanzahl im WFN

(S/RP = sponsoring/regular partner, DE = Deutschland, PP = pulp & paper)

Mitglieder aus der Zellstoff- und Papierindustrie

Derzeit kommen 8 Partner aus dem Bereich der Zellstoff- und Papierindustrie, sofern man die Beijing Forestry University dazuzählt:

- Beijing Forestry University, CN-Peking
- CEPI a.i.s.b.l., BE-Brüssel
- Fibria Celulose S/A, BR Sao Paolo
- PTS, DE-München
- Stora Enso Packaging, SE-Skoghall
- Smurfit Kappa Group, IR-Dublin
- UPM-Kymmene Corporation, FI-Valkeakoski

Zielstellung WFN

Das WFN hat sich zum Ziel gesetzt, den Wechsel bzw. den Übergang zu einer nachhaltigen, gerechten und effizienten Nutzung der weltweiten Frischwasser-Ressourcen zu fördern. Erreicht werden soll dies im Wesentlichen durch folgende drei Punkte:

- „Verbindliche“ Nutzung des Water Footprint-Konzeptes
- Schärfung des Water Footprint-Bewusstseins in Kommunen, Regierungen und in der Wirtschaft
- Förderung eines Umgangs mit Wasser, der die negativen Auswirkungen auf Ökologie und Soziales verringert.

Weitere Details zum WFN können auf der Internetseite unter www.waterfootprint.org nachgelesen werden.

6 Berechnung des Water Footprint für Papierprodukte

6.1 Vorbemerkungen

Überblick

Abbildung 4 veranschaulicht das Zusammenwirken der verschiedenen WF-Anteile grün, blau und grau in der Wertschöpfungskette Papier. Nicht in allen Prozessschritten müssen zwangsweise alle WF-Anteile zum Tragen kommen. So fällt z. B. beim Baumwachstum kein Abwasser an, d. h. $WF_{\text{grau}} = 0$, während $WF_{\text{grün}}$ bei der Zellstoffherzeugung und bei der Papierherstellung keine Rolle spielt bzw. nur in Ausnahmefällen eine untergeordnete Bedeutung hat.

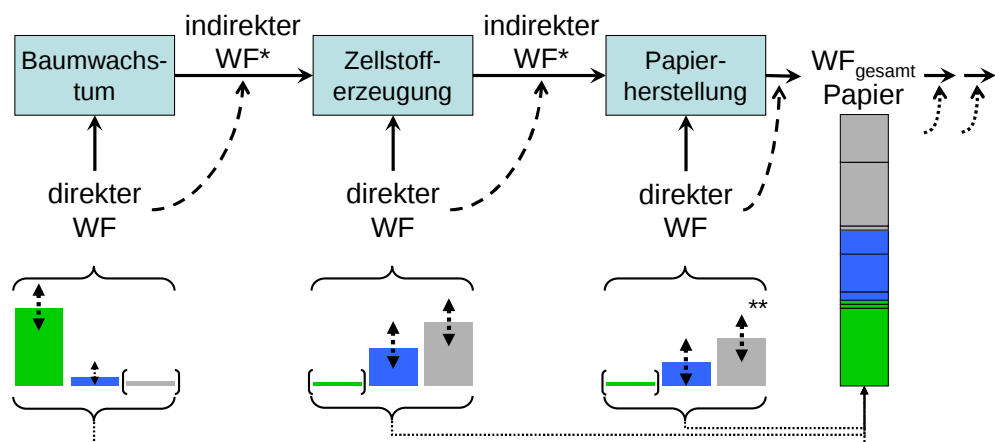


Abbildung 4: Indirekte und direkte WF-Anteile in der Wertschöpfungskette Papier

* weitere Input-Größen sind zu berücksichtigen, z. B. chem. Additive

** unterschiedliche Balkenhöhe nur zur Veranschaulichung. spiegelt

CROPWAT-Modell für Forstprodukte ungeeignet

Die WF-Berechnung der blauen und grünen Anteile zu Anbau-/Kulturpflanzen, Getreide, Feldfrüchten etc., die im Englischen übergreifend mit „crop“ bezeichnet werden können, beruht auf der zunächst einfach erscheinenden Gleichung (1):

$$WF_{\text{crop}} = \frac{\text{crop water use (m}^3 \text{ / ha)}}{\text{crop yield (ton / ha)}} \quad \text{Gleichung (1)}$$

Hinter dem Zählerterm „crop water use“ (CWU), der das beim Pflanzenwachstum verdunstete und das in den Pflanzen inkorporierte Wasser beinhaltet, verbirgt sich jedoch das recht komplexe CROPWAT-Modell [8] das hier nur andeutungsweise beschrieben werden soll. Es berücksichtigt z. B.

- unterschiedliche Verdunstungsfaktoren in den verschiedenen Wachstumsphasen einer Pflanze (s. **Abbildung 5**),
- den CWU einer „Referenzpflanze“ unter optimalen Wachstumsbedingungen
- Niederschlags- und Verdunstungsmengen,
- Bewässerungspläne,
- Bodenverhältnisse,
- klimatische Verhältnisse (vgl. Kap. 6.2.2),

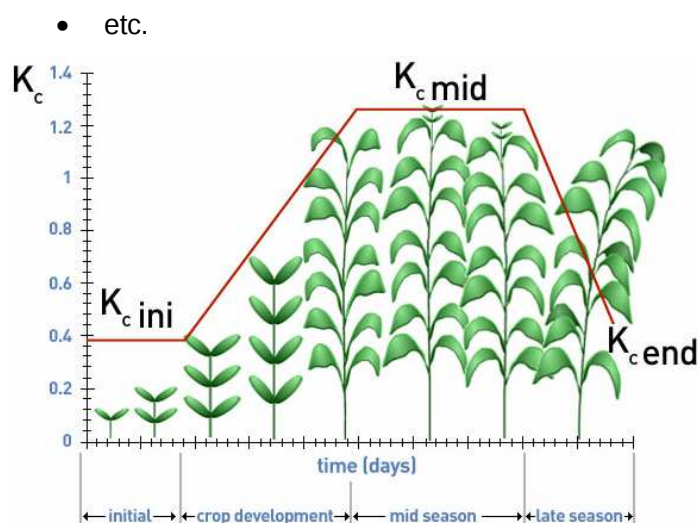


Abbildung 5: Berücksichtigung wachstumsphasenabhängiger Verdunstungsfaktoren einer Nutzpflanze im CROPWAT-Modell (entnommen aus [7])

Das CROPWAT-Modell und die zur Berechnung erforderlichen Daten (Ernteerträge, Verdunstungsmengen, etc.) sind auf der Internetseite der „Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)“ frei verfügbar (z. B. [9]).

Bei genauer Kenntnis des CROPWAT-Modells überrascht es umso mehr, dass auf dieser Basis WF-Werte für Papierprodukte vor der Publikation des an die Zellstoff- und Papierindustrie angepassten Berechnungsmodells [2] veröffentlicht wurden. Denn das CROPWAT-Modell

- ist nur für schnell wachsende Pflanzen geeignet, z. B. mit typischen Saat-Ernte-Zeiträumen von einigen Monaten,
- kann nur auf Flachwurzler angewendet werden
- und zudem sind in den erforderlichen Datenbanken keinerlei Angaben zu verschiedenen Baumarten enthalten.

6.2 Grüner und blauer Water Footprint

Vorbemerkung

In Anbetracht der Nichtanwendbarkeit des oben skizzierten CROPWAT-Modells auf Zellstoff- und Papierprodukte erarbeitete das WFN auf der Basis von Holzertrags- und Wasserverdunstungsmengen von Waldflächen ein angepasstes Modell, das im Juni 2010 als laufende Nr. 46 der Schriftenreihe „Value of Water – Research Report Series“ des UNESCO-IHE Institute of Water Education veröffentlicht wurde [2]. Im Folgenden werden die Berechnungsgrundlagen im Detail vorgestellt und die Unzulänglichkeiten analysiert. Die Publikation betrachtet allerdings nicht den WF_{grau} , auf diesen wird unter Kap. 6.3 separat eingegangen.

6.2.1 Berechnungsformeln

Überblick

Der gesamte WF von Papier WF [p] ergibt sich aus der Summe des WF beim Baumwachstum $WF_{forestry} [p]$ und dem WF bei der Papierherstellung $WF_{industry} [p]$:

$$WF [p] = WF_{forestry} [p] + WF_{industry} [p] \quad \text{Gleichung (2)}$$

Bezogen auf das Produkt Papier spiegelt $WF_{forestry} [p]$ den indirekten und $WF_{industry} [p]$ den direkten WF wieder (vgl. **Abbildung 4**).

WF bei der Papierherstellung

Der $WF_{industry} [p]$, also der direkte WF bei der Papierherstellung, setzt sich gem. Gleichung (3) zusammen aus den Mengen des bei der Papiertrocknung verdampften Wassers E, dem Wasser in den Reststoffen R, der Feuchte im Produkt P sowie dem WF_{grey} (s. Kap. 6.3):

$$WF_{industry} [p] = E + R + P + WF_{grey} \quad \text{Gleichung (3)}$$

Die einzelnen Beiträge E, R und P lassen sich ausschließlich dem WF_{blue} zuschlagen (vgl. Kap. 5.3), ein WF_{green} spielt bei der Papierherstellung keine Rolle.

WF des Baumwachstums

Der Term $WF_{forestry} [p]$ zum WF beim Baumwachstum ist komplexer und aus diversen Faktoren aufgebaut, die nachfolgend im Einzelnen kurz erläutert werden.

$$WF_{forestry} [p] = \left(\frac{ET_a + (Y_{wood} \times f_{water})}{Y_{wood}} \right) \times f_{paper} \times f_{value} \times (1 - f_{recycling}) \quad \text{Gleichung (4)}$$

ET_a : Die Evapotranspirationsrate ET_a beschreibt die durchschnittliche, jährliche verdunstete Wassermenge einer Waldfläche in ($m_{water}^3 / (ha * year)$).

Y_{wood} ist der durchschnittliche jährliche Holzertrag einer Waldfläche in ($m_{wood}^3 / (ha * year)$).

f_{water} ist der Volumenteil des Wassers im frisch geschlagenen Holz in (m_{water}^3 / m_{wood}^3).

f_{paper} wird in [2] als „wood-to-paper conversion factor“ beschrieben und beziffert die Masse an frisch geschlagenem Holz, die benötigt wird, um eine Tonne Papier zu erzeugen; die Dimension lautet also (m_{wood}^3 / ton_{paper}).

Exkurs: f_{paper} leitet sich aus dem so genannten Parameter „product fraction“ f_p ab, der gem. Gleichung (5) angibt, wieviel Masse „output product“ $w [p_{out}]$ aus der Masse bzw. den Massen „input product“ $w [p_{in}]$ gewonnen werden kann [7].

$$f_p [p, i] = \frac{w [p_{out}]}{w [p_{in}]} \quad \text{Gleichung (5)}$$

f_{paper} und f_p stehen gem. Gleichung (6) über die Dichte von Holz in einem einfachen Zusammenhang:

$$f_{paper} = \frac{1}{f_p * \rho} \quad \text{Gleichung (6)}$$

Einfacher ausgedrückt, lassen sich f_{paper} und f_p auch als „Ausbeute“ bezeichnen.]

f_{value} ist dimensionslos und berücksichtigt den Wertanteil der produzierten Masse von Papier am Gesamtwert aller aus dem Holz hergestellten Produkte. Wird aus dem Holz nur Zellstoff oder nur Papier hergestellt, so wird $f_{value} = 1$ und Gleichung (4) vereinfacht sich entsprechend. Andernfalls muss über die Produkte $p = 1 \dots z$ entsprechend Gleichung (7) gewichtet werden.

$$f_{value} [p] = \frac{price [p] \times w [p]}{\sum_{p=1}^z (price [p] \times w [p])} \quad \text{Gleichung (7)}$$

Es sei hier noch angemerkt, dass f_{value} eine wichtige Rolle spielt, wenn der (volks-)wirtschaftliche Nutzen verschiedener Produkte p_1, p_2 etc. bewertet werden soll, die aus oder mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Wasserressourcen hergestellt werden.

$f_{recycling}$ ist ebenfalls eine dimensionslose Größe im Bereich von 0 ... 1 bzw. von 0 ... 100 % und beschreibt den Anteil des Faserstoffs am Papierprodukt, der aus rezyklierten Fasern bzw. aus Altpapier gewonnen wird.

Schnell wird ersichtlich, dass bei 100%igem Altpapiereinsatz, d. h. $f_{recycling} = 1$, der Term $WF_{forestry} [p]$ in Gleichung (4) gleich Null wird, der WF beim Baumwachstum bei 100 % Altpapier verarbeitenden Werken also keine Rolle spielt.

Fazit

Im vorliegenden Abschnitt 6.2.1 sind zunächst die Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung von WF_{blue} und WF_{green} beim Baumwachstum dargelegt. Im Grunde ist damit die Berechnung des beim Baumwachstum verdunsteten Wassers möglich.

Das Modell bzw. die Berechnungsformeln erlauben es allerdings nicht, zwischen WF_{blue} und WF_{green} zu differenzieren. Zwar kann das im oberen Erdreich gespeicherte Regenwasser dem WF_{green} zugeschlagen werden, doch ist es nicht möglich, das aus tiefer liegenden Erdschichten von den Bäumen aufgenommene Grundwasser und damit den WF_{blue} zu quantifizieren.

6.2.2 Datengrundlagen

ET_a, Y_{wood}

Die Evapotranspiration ([10], s. **Abbildung 7**) sowie der Holzertrag sind abhängig von den Klimazonen [11] und den darin vorkommenden Baumarten. Für die WF-Berechnungen legt [2] vereinfachend lediglich die drei in **Abbildung 6** genannten Baumarten zugrunde.

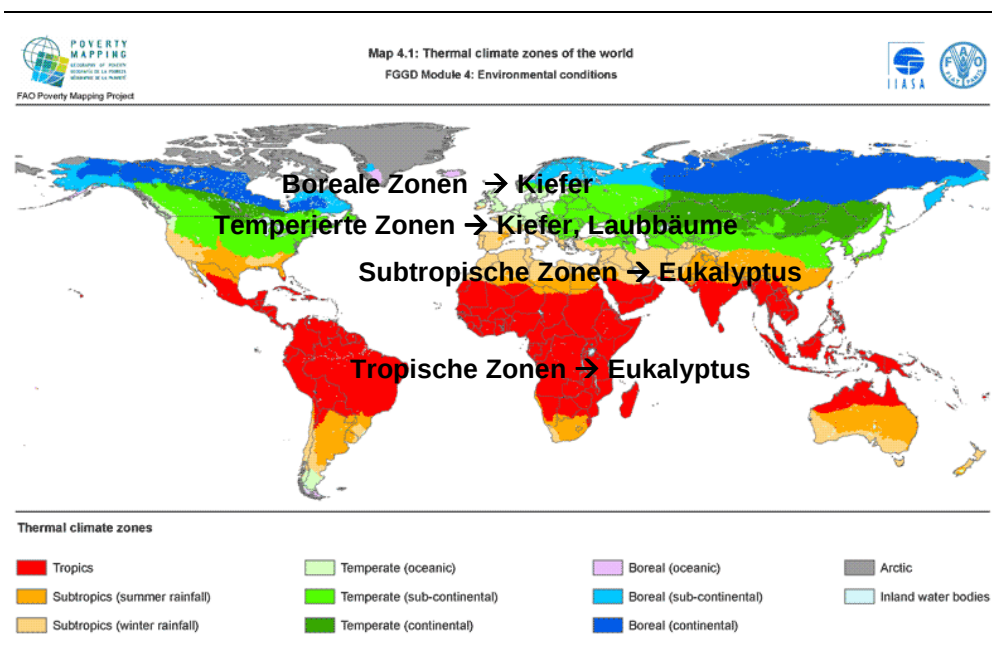


Abbildung 6: Zur WF-Berechnung in [2] zugrunde gelegte Klimazonen und Baumarten

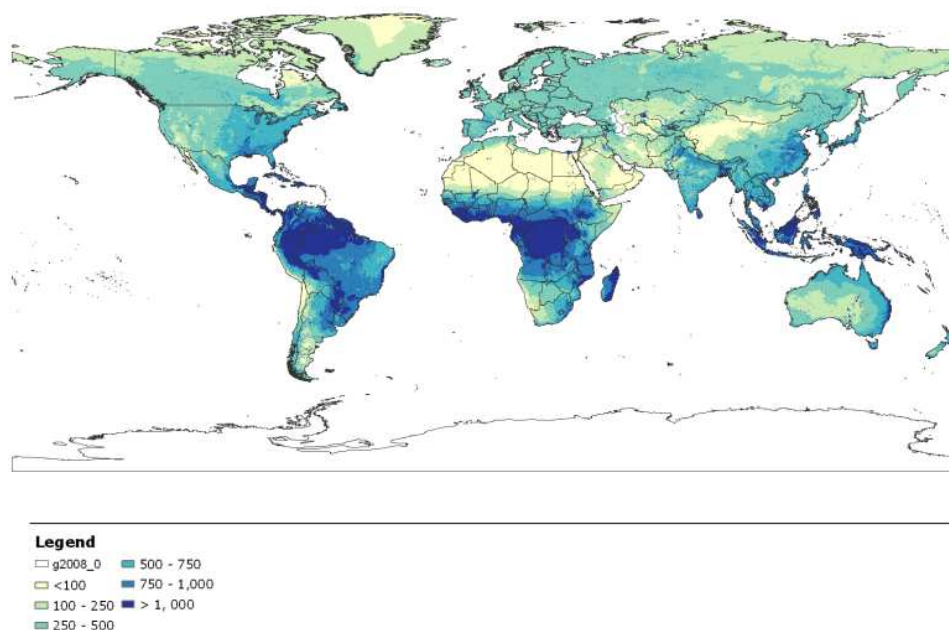


Abbildung 7: Jährliche tatsächliche Evapotranspiration weltweit (aus [10])

f_{water} , f_{paper}

Für den Volumenteil des Wassers im frisch geschlagenen Holz f_{water} wird ein Durchschnittswert von 40 % angenommen.

Die Ausbeute f_{paper} („wood-to-conversion factor“) wird bei der Holzstofferzeugung mit durchschnittlich $2,50 \text{ m}_{\text{Holz}}^3 / \text{t}_{\text{Holzstoff}}$ beziffert, was in Abhängigkeit von der Holzart, von der Holzfeuchte und von dem Erzeugungsverfahren (Steinschliff, TMP) und demzufolge eben mit Schwankungen nach unten bzw. oben in etwa aber zutrifft.

Irritierend ist allerdings ein Faktor von 2,87 für die Erzeugung von Zeitungsdruckpapier. Dieser Faktor kann zumindest für deutsche Produktionsstätten nicht zugrundegelegt werden, da Zeitungsdruckpapier praktisch ausschließlich aus Altpapier mit - wenn überhaupt - geringen Zusätzen von Holzstoff erzeugt wird.

 f_{value}

Es wird vereinfachend angenommen, dass die Menge des jährlich nachwachsenden Holzes gleich dem Holzertrag ist und dieser ausschließlich der Zellstoff- und/oder Papierherstellung dient. Daraus ergibt sich dass $f_{value} = 1$ ist.

Diese Annahme ist für deutsche Papierfabriken nicht zutreffend. Wichtigste Holzquellen sind Sägewerksreste und Durchforstungsholz. Inwieweit diese dem Holz, welches ausschließlich zur Zellstofferzeugung genutzt wird, hinsichtlich f_{value} gleich zu stellen sind, wird unter Kap. 9 kurz andiskutiert.

 $f_{recycling}$

Der Faktor $f_{recycling}$ ergibt sich zum einen aus der Altpapiereinsatzquote und zum anderen aus den Stoffverlusten bei der Altpapieraufbereitung. Die AP-Einsatzquote für das Jahr 2006 wird mit 67 % beziffert und ist damit korrekt wiedergegeben. An Stoffverlusten werden durchschnittlich 15 % angenommen, wodurch sich für Deutschland im Mittel ein Faktor $f_{recycling} = 57$ % ergibt.

Dieser Wert entspricht annähernd dem prozentualen Anteil des Altpapiers am Rohstoffverbrauch 2006 i. H. v. 58 % [12], allerdings sind hierbei Mineralien und Additive in den Rohstoffen mit enthalten.

Bezieht man den prozentualen Anteil des Altpapiers ausschließlich auf die eingesetzten Faserstoffe Zellstoff, Holzstoff und Altpapier, so beträgt sein Anteil 69,4 %. Letzterer ist nach Ansicht des Autors als $f_{recycling}$ zu betrachten. Im Jahr 2010 betrug dieser Wert sogar 72,6 % auf Basis eines Altpapieranteils an allen Rohstoffen (Zellstoff, Holzstoff, Altpapier sowie Mineralien und Additive) i. H. v. 61 % [13].

Auch hinsichtlich der Stoffverluste wären Korrekturen anzubringen, da diese sehr stark von der hergestellten Papiersorte abhängen. Hierzu können folgende Bereiche angegeben werden [14]:

- Verpackungspapiere : 5 ... 7 %
 - grafische Papiere : 15 ... 25 %
 - Zeitungsdruckpapier : 15 %
 - Tissue : 30 ... 50 %
-

Verwendete Daten für Deutschland im Überblick

Nachfolgend sind die zur Berechnung des WF-Wertes von Papier- und Pappeprodukten deutscher Papierfabriken verwendeten Daten zusammengestellt und zum Vergleich einigen ausgewählten Daten anderer Länder gegenübergestellt:

- ET_a (temperiert) = 363 mm/a (= 3.630 m³/ha/a)
zum Vergleich: USA 278 (boreal), 516 (temperiert), 635 (subtrop.), 1.730 (tropisch) mm/a
 - Y_{wood} : 7 (Laubbäume) bzw. 8 (Kiefer) m³/ha/a
zum Vergleich
 - o Laubbäume: 6 (China) ... 22 (Chile) m³/ha/a
-

-
- o Eukalyptus: 6 (China) ... 26 (Chile) m³/ha/a
 - o Kiefer: 4 (China) ... 19 (Chile) m³/ha/a
 - AP-Einsatzquote = 67 %
zum Vergleich: 17 (Schweden) ... 70 (Niederlande) %
 - $f_{\text{recycling}} = 57 \%$
zum Vergleich: 4 (Finnland) ... 72 (Spanien) %

Alle anderen Faktoren wie $f_{\text{water}} = 0,4$, $f_{\text{value}} = 1$ und $f_{\text{paper}} = 2,50 \dots 5,65$ (in Abhängigkeit von dem hergestellten Faserstoff bzw. von dem Papier-/Pappeprodukt) wurden für alle Länder einheitlich übernommen.

WF am Beispiel von Zeitungsdruckpapier

Für deutsches Zeitungsdruckpapier (ZDP) ergibt sich gem. Gleichung (4) und mit dem oben vorgestellten Datenmaterial ein WF für die Summe $WF_{\text{blue}} + WF_{\text{green}}$

von 537 (Kiefer) ... 654 (Laubholz) m³/t bzw.

von 2,7 (Kiefer) ... 3,2 (Laubholz) l/Blatt A4_{80 g/m²}.

Zwar hat ZDP eine flächenbezogene Masse im Bereich von 40 ... 56 g/m², doch wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den eingangs erwähnten Werten (s. Kap. 2) die gleiche Grammatur gewählt.

Die oben kritisierten Punkte geben Anlass zu der Vermutung, dass die in [2] für Deutschland publizierten WF-Werte zu hoch sind und deshalb nicht zutreffen.

Eine sorgfältigere Betrachtung bzw. Auswahl der o. g. Daten, wie z. B. in [15] (s. a. Kap. 7.2) für ZDP aus zwei österreichischen Papierfabriken geschehen, führt in Abhängigkeit von dem AP-Anteil im fertigen Produkt zu einem Bereich

von 99 ... 349 m³/t (jeweils mit Fichte zur HS-Erzeugung) bzw.

von 0,5 ... 1,7 l/Blatt A4_{80 g/m²}.

Diese Werte für die Summe von WF_{green} und WF_{blue} liegen somit um einen Faktor von bis zu 6 niedriger als die vom WFN publizierten Daten.

6.2.3 Fazit

Publizierte Werte sind fragwürdig

Die im Report 46 des WFN [2] publizierten Daten für die Summe von WF_{green} und WF_{blue} einzelner Papierprodukte (Zeitungsdrukpapier, Druck- und Schreibpapier sowie „andere Papier- und Kartonprodukte“) beruhen auf äußerst fragwürdigen Annahmen ($f_{\text{value}} = 1$) und nicht zulässigen Vereinfachungen. So werden z. B. eine identische Altpapiereinsatzquote und damit ein gleicher Faktor $f_{\text{recycling}}$ für alle betrachteten Produkte angenommen. Zudem werden wichtige Faserstoffe, wie etwa Fichte für die Holzstoffherzeugung, nicht betrachtet oder falsche Faserstoffzusammensetzungen, z. B. für Zeitungsdrukpapier, als Grundlage für WF-Berechnungen herangezogen.

Dennoch bleibt festzuhalten, dass mit dem für Zellstoff- und Papierprodukte angepassten Berechnungsmodell gem. Gleichung (4) ein besseres und vor allem nachvollziehbareres Modell zur Verfügung steht, als es das CROPWAT-Modell jemals hätte leisten können.

6.3 Grauer Water Footprint

Vorbemerkung Die Berechnung des WF_{grey} ist in [2] explizit ausgeklammert, da die zugrunde liegende Formel unabhängig ist von der Art des betrachteten Produktes oder Prozesses. Mit der Veröffentlichung von „The Water Footprint Assessment Manual“ im Jahr 2011 wurde eine aktualisierte Berechnungsformel für WF_{grey} zur Verfügung gestellt, auf die im Folgenden Bezug genommen wird. Nachteilig ist, dass bereits für Papierprodukte früher berechnete und publizierte Daten, wie z. B. in [15] nun nicht mehr 1:1 mit aktuellen Werten verglichen werden können.

6.3.1 Berechnungsformeln

Überblick Die Grundlage für die Berechnung von WF_{grey} ist Gleichung (8), die Dimension ist zunächst „Volumen pro Zeit“. Durch Verknüpfung mit einer Produktionsmenge t_{Papier}/d oder $/a$ kann der Bezug zum Produkt hergestellt werden.

$$WF_{grey} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad \text{Gleichung (8)}$$

L ist die in einer bestimmten Zeit in ein Gewässer abgeleitete Fracht eines beliebigen Schadstoffes oder Wasserqualitätsparameters, ausgedrückt z. B. in kg/d

C_{max} ist die aufgrund von gegebenen Umweltstandards maximal zulässige Konzentration eines Schadstoffes oder eines Wasserparameters in dem betreffenden aufnehmenden Gewässer

C_{nat} ist die natürliche Hintergrundbelastung eines Schadstoffes oder eines Wasserparameters in dem betreffenden aufnehmenden Gewässer

WF_{grey} unterscheidet sich von den bisher betrachteten WF_{green} und WF_{blue} ganz erheblich. Können WF_{green} und WF_{blue} noch als „reelle“ Wasserverbräuche betrachtet werden, so spiegelt der WF_{grey} die Menge an unbelastetem Wasser wieder, das benötigt würde, um die abgeleitete Fracht L eines beliebigen Schadstoffes so weit zu verdünnen, dass dessen Konzentration unter Berücksichtigung der natürlichen Hintergrundbelastung C_{nat} und der gegebenen Umweltstandards C_{max} wieder eine akzeptable bzw. „nicht schädliche“ Größenordnung erreicht.

Kritische Fracht
 L_{crit} Erreicht L eine kritische Größenordnung L_{crit} , so ist die Aufnahmekapazität des aufnehmenden Gewässers bezüglich eines Schadstoffes oder eines Wasserparameters ausgeschöpft. Das bedeutet, dass der gesamte (mittlere) Abfluss R eines Flusses zur Verdünnung des betrachteten Parameters benötigt wird und der Wert WF_{grey} entspricht dann dem mittleren Abfluss R .

$$L_{crit} = R \times (C_{max} - C_{nat}) \quad \text{Gleichung (9)}$$

Das Konzept der kritischen Fracht ist nicht neu und wird im Grunde in ähnlicher Ausprägung - ohne jedoch einen WF-Wert zu berechnen - auch von Behörden bei Verlängerung, Neuerteilung etc. von Einleitegenehmigungen angewendet.

Berechnung von L

Die real eingeleitete Fracht L errechnet sich gem. Gleichung (10) aus der Fracht im Abwasser $Effl$ abzüglich der aus dem Gewässer entnommenen Fracht durch die Brauchwasserentnahme $Abstr$ und den jeweils zutreffenden Konzentrationen c_{effl} und c_{act} :

$$L = Effl \times c_{effl} - Abstr \times c_{act} \quad \text{Gleichung (10)}$$

Gleichung (8) lässt sich also gem. Gleichung (11) erweitern:

$$WF_{grey} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} = \frac{Effl \times c_{effl} - Abstr \times c_{act}}{C_{max} - C_{nat}} \quad \text{Gleichung (11)}$$

$Effl$ ist die pro Zeiteinheit abgeleitete Abwassermenge in das aufnehmende Gewässer

c_{effl} ist die Konzentration eines Schadstoffes oder eines Wasserparameters im abgeleiteten Abwasser

$Abstr$ ist die pro Zeiteinheit entnommene Brauchwassermenge aus demselben Gewässer

c_{act} ist die aktuelle Konzentration eines Schadstoffes oder eines Wasserparameters im entnommenen Brauchwasser, also vor Einleitung der eigenen Abwassermenge

Berücksichtigung der Vorbelastung

Gemäß der aktuellen Berechnungsformel in Gleichung (11) kann also die Vorbelastung des entnommenen Brauchwassers „ $Abstr \times c_{act}$ “ von der abgeleiteten Fracht „ $Effl \times c_{effl}$ “ subtrahiert werden. Dies ist allerdings nur zulässig, falls Brauchwasserentnahme und Abwassereinleitung dasselbe Gewässer betreffen.

Durch die Berücksichtigung der Vorbelastung wird ein Einleiter also nicht mehr durch bereits vorhandene, flussaufwärts gelegene Einleitungen „bestraft“.

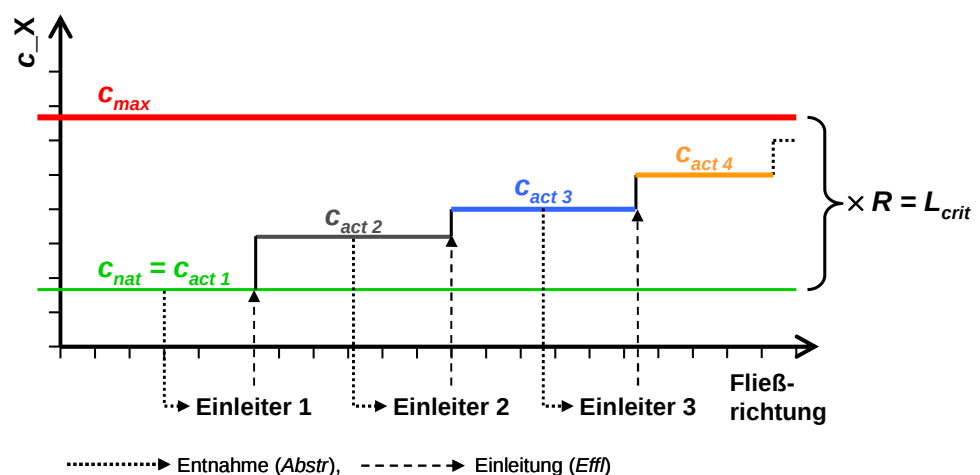


Abbildung 8: Berechnung WF_{grey} : Berücksichtigung der Vorbelastung und Veranschaulichung von L_{crit}

**WF_{grey} -
Sonderfälle**

Für den Fall, dass die Abwassermenge $Effl$ identisch ist zur entnommenen Brauchwassermenge $Abstr$, vereinfacht sich Gleichung (11) zu Gleichung (12):

$$WF_{grey} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} = Effl \times \frac{C_{effl} - C_{act}}{C_{max} - C_{nat}} \quad \text{Gleichung (12)}$$

falls $Effl = Abstr$ bzw. $Effl \approx Abstr$

In Papierfabriken ist die spezifische Abwassermenge allerdings um 0,7 ... 1,5 m³/t_{Papier_brutto} geringer als die spezifische Frischwasser- bzw. Brauchwassermenge. Diese Differenz entspricht im Wesentlichen der bei der Papiertrocknung verdampften Wassermenge plus dem Wassergehalt im Produkt sowie in den Reststoffen. Nimmt man bei der WF_{grey}-Berechnung einen Fehler von nicht mehr als 10 % in Kauf, so kann die vereinfachte Gleichung (12) für Produktionen mit spezifischen Abwassermengen größer 7 ... 15 m³/t_{Papier_brutto} herangezogen werden.

Anhand der vereinfachten Gleichung (12) können – in Abhängigkeit von den Konzentrationen c zueinander – verschiedene Sonderfälle diskutiert werden:

$C_{effl} = C_{act}$ → $WF_{grey} = 0$, da durch die Abwassereinleitung die Konzentration im aufnehmenden Gewässer nicht verändert wird

$C_{effl} = C_{max}$ → $WF_{grey} = Effl$, falls zusätzlich $C_{act} = C_{nat}$; in diesem Fall entspricht der WF_{grey}-Wert genau der Abwassermenge $Effl$. Zwar wird hier sogar im Abwasser der Umweltstandard C_{max} für das aufnehmende Gewässer eingehalten, dennoch ergibt sich ein $WF_{grey} > 0$, da ein Teil der Aufnahmekapazität des Gewässers durch die Abwassereinleitung „verbraucht“ wird und die nach Einleitung neue Konzentration von C_{act} sich C_{max} annähert. Diese Situation entspricht im Grunde dem „Einleiter 1“ in **Abbildung 8**.

$C_{effl} < C_{act}$ → WF_{grey} wird zwar „negativ“, darf/soll aber im WF_{gesamt} nicht zur Kompensation der anderen WF-Anteile herangezogen werden. Hintergrund ist, dass bei der Bewertung der Umweltwirkungen der verschiedenen WF-Anteile die lokale Verbesserung an einem Ort X keinerlei Wirkung hat auf einen anderen Ort Y.

$C_{max} = 0$ gilt für besonders kritische Stoffe, die in Oberflächengewässern nicht (mehr) auftreten sollen. Sinnvollerweise kann dies nur für bestimmte anthropogene Stoffe gelten, für die ebenfalls $C_{nat} = 0$ ist. Für derartige Stoffe geht $WF_{grey} \rightarrow \infty$, falls $C_{effl} > 0$.

$C_{max} = C_{nat}$ wird in [7] als nicht realistischer Fall beschrieben, da es keinen Sinn mache, einen Umweltstandard gleich der natürlichen Hintergrundbelastung zu setzen.

**Maßgeblicher
Parameter zur
 WF_{grey} -
Berechnung**

Gemäß Vorgabe von [7] soll derjenige Schadstoff oder Wasserparameter zur Berechnung herangezogen werden, der den größten WF_{grey} -Wert ergibt. Hintergrund dieser Forderung ist, dass durch das daraus resultierende Wasservolumen auch die Umweltstandards aller anderen Schadstoffe bzw. Wasserparameter eingehalten werden.

Neben den rein chemischen Parametern wie CSB, TOC, AOX, NH_4^+ , NO_3^- etc. ist hierbei unter Umständen auch die Abwassertemperatur T_{effl} zu berücksichtigen. Die Berechnung von WF_{grey} auf Basis von Temperaturwerten (s. Gleichung (13)) erfolgt analog zu Gleichung (11) oder Gleichung (12):

$$WF_{grey} = Effl \times \frac{T_{effl} - T_{act}}{T_{max} - T_{nat}} \quad \text{Gleichung (13)}$$

6.3.2 Datengrundlagen

 c_{effl}

Die Konzentrationen c_{effl} zu konventionellen Abwasserparametern (CSB, BSB₅, AOX, NH_4^+ -N, NO_3^- -N, NO_2^- -N, P_{gesamt} , Temperatur und ggf. weitere), wie sie z. B. im Rahmen der Eigenüberwachung routinemäßig analysiert werden, liegen den Unternehmen vor.

 c_{act}
Firmeninterne Messungen:

Die o. g. Parameter werden teilweise von den Unternehmen auch im nicht aufbereiteten Brauchwasser bestimmt.

Öffentlich verfügbare Daten:

Die Qualität und Quantität sowie die Verfügbarkeit von Messwerten über aktuelle Konzentrationen von Schadstoffen und Wasserparametern sind von Bundesland zu Bundesland sehr unterschiedlich.

So wurden auf Nachfrage bei einem **bayerischen Wasserwirtschaftsamt** Zeitreihen (14-tägige Messung) aus den Jahren 2003 ... 2011 zu folgenden Parametern übermittelt:

- Flussmessstelle: Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, AOX, TOC, BSB₅, TN_b , NH_4^+ -N, NO_3^- -N, NO_2^- -N, P_{gesamt} , o-PO₄-P, Pb, Cr_{ges}, Cu, Zn, Cd, Hg_{ges}, Ni, O_{2, gelöst} und Cl⁻
- Seenumessstelle: Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, TOC, TN_b , NO_3^- , NH_4^+ , P_{gesamt} , o-PO₄-P, O_{2, gelöst} und Cl⁻

In **Nordrhein-Westfalen** hingegen ist ein extrem umfangreiches Messstellen- und Dokumentationssystem aufgebaut, das über die o. g. konventionellen Parameter hinaus auch noch eine Vielzahl von Einzelstoffen umfasst. Beispielsweise seien genannt: DTPA, EDTA und NTA, 23 Aromaten und Phenole, 16 PAK sowie Substanzen aus den Gruppen Röntgenkontrastmittel, Arzneistoffe, Pestizide, PFC und leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe. Die Daten sind öffentlich verfügbar und können unter <http://luadb.lids.nrw.de/LUA/gues/welcome.htm> abgerufen werden.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass eine Vielzahl von Daten zu c_{act} zur Verfügung steht bzw. vergleichsweise leicht beschafft werden kann. Allerdings dürfte es in den meisten Fällen schwierig bis unmöglich sein, entsprechende Daten exakt für die Entnahmestelle zu bekommen, so dass die verfügbaren Daten nur als Anhaltspunkte für WF_{grey} -Berechnungen herangezogen werden können.

 c_{nat}

Abgesehen von anthropogenen Stoffen, für die $c_{nat} = 0$ gilt, dürfte es für alle anderen Parameter in einem industriell geprägten Land wie Deutschland praktisch unmöglich sein, die natürliche Hintergrundbelastung anzugeben. Die Voraussetzungen zur Festlegung oder Ermittlung von c_{nat} , nämlich dass in dem betreffenden Einzugsgebiet keine Einflüsse durch „menschliches Handeln“ gegeben sind, liegen in Deutschland nicht vor. Gemäß der im Juli 2011 in Kraft getretenen Oberflächengewässerverordnung OGewV [16] werden zur Orientierung folgende Größenordnungen zu Einzugsgebieten bei Flüssen genannt:

- klein 10 ... 100 km²
- mittelgroß > 100 ≤ 1.000 km²
- groß > 1.000 ≤ 10.000 km²
- sehr groß > 10.000 km²

Behelfsweise könnten Daten von noch nicht durch Einleitung belasteten Abschnitten an den Flussoberläufen herangezogen werden. Alternativ und vereinfachend könnte aber auch für die anderen Stoffe $c_{nat} = 0$ gesetzt werden, wodurch man in Kauf nimmt, dass der WF_{grey} geringer als „in der Realität“ ausfällt.

 c_{max}

In der o. g. OGewV [16] sowie in der Umweltqualitätsnormen-Richtlinie 2008/105/EG [17] der EU werden für eine ganze Reihe von Stoffen maximal zulässige Konzentrationen in Oberflächengewässern genannt.

Als Orientierung können ferner die Zielvorgaben diverser Kommissionen, Arbeitsgemeinschaften etc. wie z. B. der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) bzw. des Rheins (IKSR), von Wasserwerksverbänden (z. B. IAWR = Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet) usw. herangezogen werden.

Dass der Wert c_{max} einen ganz erheblichen Einfluss auf das Ergebnis hat, ergibt sich aus Gleichung (11) bzw. Gleichung (12) und wird durch die nachfolgende Beispielberechnung für DTPA verdeutlicht. Hier wurde vereinfachend angenommen, dass der für EDTA vorliegende $PNEC_{aqua}$ -Wert als c_{max} auch auf DTPA angewendet werden kann, die anderen c_{max} -Werte wurden in den angegebenen Quellen recherchiert. Ferner wurde vereinfacht, indem $Efflu = Abstr$ sowie $c_{nat} = c_{act} = 0$ gesetzt wurden.

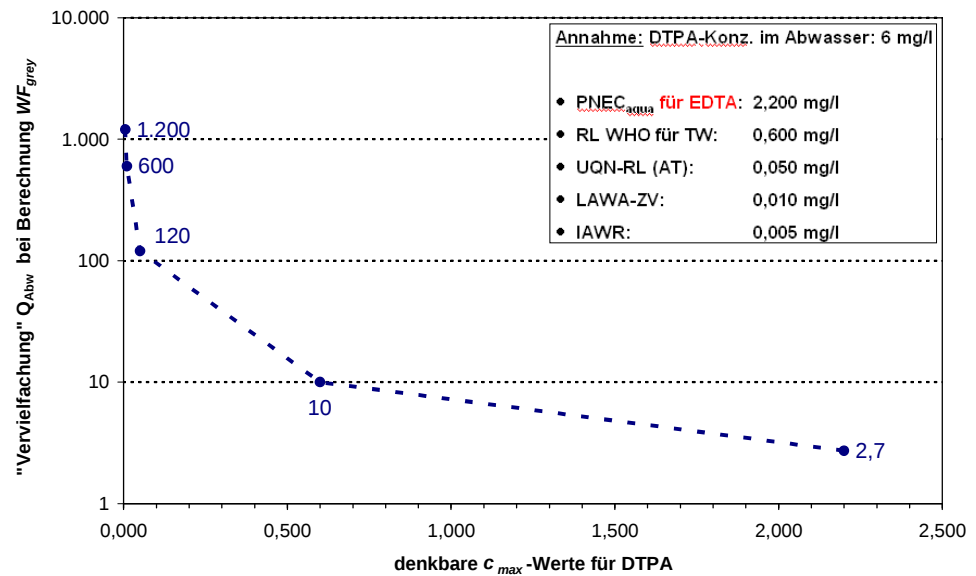


Abbildung 9: Exponentielle Erhöhung des WF_{grey} bei strenger werdenden c_{max} -Werten

Bei der Anwendung von PNEC_{aqua} als c_{max} vervielfältigt sich die Abwassermenge um den Faktor 2,7. Legt man den strengsten Wert der IAWR [18] zugrunde, „explodiert“ der WF_{grey} förmlich und beträgt nun das 1.200-fache der Abwassermenge.

Trotz der vorstehend genannten Quellen, mangelt es jedoch bei der Mehrzahl der möglichen Spurenstoffe in Papierfabriksabwässern an entsprechenden Daten und Vorgaben. Andererseits können auch unterschiedliche Vorgaben zur Verfügung stehen und je nach Standpunkt der Betrachtung, wird die eine Partei strengere, die andere Partei weniger strenge Maßstäbe anlegen wollen.

6.3.3 Fazit

Abstrakte Größe WF_{grey}	Im Unterschied zu WF_{green} und WF_{blue}, die noch als „reelle“ Wasserverbräuche einzustufen sind, handelt es sich beim WF_{grey} um eine abstrakte Größe. Der WF_{grey} gibt an, mit welcher Menge Frischwasser das eigene Abwasser verdünnt werden muss, um - bezogen auf den kritischsten Parameter bzw. Spurenstoff - eine akzeptable Konzentration unter Berücksichtigung der natürlichen Vorbelastung, von Umweltstandards und der Vorbelastung im Brauchwasser zu erreichen. Das einfache Aufsummieren von Größen unterschiedlicher Dimension bzw. Charakteristik ist kritisch zu hinterfragen und kann bei oberflächlicher Betrachtung/Bewertung des gesamten WF zu Fehlinterpretationen führen.
Vorbelastung wird nun berücksichtigt	In der aktuellen Berechnungsformel des WF_{grey} wird die Vorbelastung durch flussaufwärtsgelegene Einleitungen bzw. durch das Vorhandensein ubiquitär verbreiteter Stoffe berücksichtigt und führt gegenüber der ursprünglichen Berechnungsformel zu geringfügig kleineren WF_{grey}-Werten. Dies ist mit Blick auf die Ausgangssituation vor Projektstart als positive Entwicklung zu werten.
Mangelhafte Datenlage	Zur Berechnung werden allerdings Daten zu c_{act}, c_{nat} und c_{max} benötigt, die wohl nur in Ausnahmefällen vollständig zur Verfügung stehen. Insofern kann auch die WF_{grey}-Berechnung in den meisten Fällen nur als Annäherung betrachtet werden.
Bezug auf kritischsten Stoff bzw. Parameter	Das WF-Konzept fordert, den WF_{grey} anhand desjenigen Stoffes oder Parameters zu ermitteln, der zu dem größten WF_{grey}-Wert führt. Erschwerend kommt hinzu, dass u. U. unterschiedliche c_{max}-Werte vorliegen, die den WF_{grey} exponentiell vervielfachen.
Konventionelle Parameter als Berechnungsgrundlage	Sofern ein Unternehmen eine erste Abschätzung/Berechnung zum WF_{grey} durchführen möchte, wird angeraten, dies anhand der konventionellen Parameter im Einleitebescheid zu tun. Zum einen sind dies die Parameter, die einzuhalten sind, zum anderen sollten für diese Parameter die erforderlichen Daten über c_{act}, c_{nat} und c_{max} noch am leichtesten zu recherchieren sein.
Erfolge der Papierindustrie im Hinblick auf die Abwasserqualität und –quantität in Frage gestellt	Zweifellos gehört die Ablaufqualität gereinigter Abwässer aus der Papier-, Papp- und Kartonherstellung in deutschen Werken – bei gleichzeitig sehr geringen spezifischen Abwassermengen – zu den besten weltweit. Hohe Anforderungen bei der wasserrechtlichen Einleitegenehmigung gepaart mit einer strengen Überwachungspraxis erfordern Abwasserreinigungsanlagen (ARA) gemäß den besten verfügbaren Techniken. Bei strenger Auslegung des WF-Konzeptes zum WF_{grey} werden die Erfolge der Papierindustrie im Allgemeinen, insbesondere aber der deutschen Standorte - zumindest bei oberflächlicher Betrachtung - in Frage gestellt. Die Berechnungsmodalitäten führen daher nach wie vor zu Irritationen bis hin zu Ablehnung.

7 Ergebnisse aus Pilotprojekten der Industrie

7.1 Vorbemerkung

Publikationen mit nachvollziehbaren Daten sind rar

Arbeiten bzw. Veröffentlichungen mit nachvollziehbaren Daten und der Offenlegung aller Randbedingungen zur WF-Berechnung sind - vor dem Hintergrund der in Kap. 6 aufgeführten Vereinfachungen, zu treffenden und erforderlichen Annahmen etc. - nach wie vor sehr rar.

Im Folgenden werden Ergebnisse aus Pilotvorhaben auszugsweise dargestellt, die mit Unterstützung bzw. auf Initiative der Papierindustrie durchgeführt worden sind. Allen drei Vorhaben unter Kap. 7.2 bis 7.4 gemeinsam ist, dass die Durchführung in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern des WFN erfolgte.

Abschließend wird im vorliegenden Kapitel eine kurze Übersicht zu weiteren Aktivitäten, Statements etc. seitens der Papierindustrie gegeben, die jedoch nicht mehr im Detail ausgeführt werden und als weitere Informationsquellen zum WF in der Zellstoff- und Papierindustrie zu verstehen sind.

7.2 Diplomarbeit Kellner

Betrachtete Werke und Produkte

In der Arbeit von Kellner [15] werden drei österreichische Produktionsstandorte „PM1“, „PM2“ und „PM3“ betrachtet, die Magazin-/SC- und/oder Zeitungsdruck- sowie in einem Fall auch LWC-Papiere herstellen.

WF-Werte im Überblick

Tabelle 2: WF-Werte (m³/t) und Zusammensetzung graphischer Papiere in österreichischen Papierfabriken (aus [15])

	PM1 ZDP	PM2 ZDP	PM1 LWC	PM2 SC	PM3 SC
WF_{green}	97	347	651	84	661
WF_{blue}	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4
WF_{grey}	68	128	273	128	69
WF_{total}	167	477	926	214	731
Papierzusammensetzung in %					
Zellstoff			13		10
Holzstoff	7	58	24	8	27
Altpapier	85	33	20	65	29
Pigmente/Füllstoff/Binder	1	1	39	22	28
Feuchte	7	8	4	5	6

Vorbemerkung zur Diskussion

Die Berechnung der einzelnen WF-Anteile erfolgte gem. den in Kap. 6 erläuterten Gleichungen. Eine Ausnahme bildet die WF_{grey} -Berechnung, die gem.

ausgewählter Werte

Gleichung (14) aus [19] erfolgte, in der die Vorbelastung des entnommenen Frischwassers noch nicht berücksichtigt wurde. Auf die daraus sich ergebenden geringen Unterschiede wird jedoch nicht eingegangen. Im Folgenden werden einige ausgewählte WF-Werte kurz andiskutiert.

$$WF_{grey} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} = Effl \times \frac{C_{effl} - C_{act}}{C_{max} - C_{nat}} \quad \text{Gleichung (14)}$$

**WF_{green}:
PM2 SC vs.
PM3 SC**

PM2 SC liegt mit 84 m³/t erheblich niedriger als PM3 SC mit 661 m³/t. Ursächlich hierfür sind die unterschiedlichen Anteile an Zellstoff, Holzstoff sowie Altpapier sowie die unterschiedlichen Ausbeuten, vgl. f_{paper} in Gleichung (4). Hinzukommen unterschiedliche Wertschöpfungsanteile (s. f_{value} in Gleichung (4)), da in einem Fall Sägewerksreste (PM2) und in dem anderen Durchforstungsholz (PM3) bei der Holzstofferzeugung eingesetzt werden.

Bedingt durch ähnlichen Faserstoffeinsatz liegt der Wert PM1 LWC mit 651 m³/t in identischer Größenordnung zu PM3 SC.

WF_{blue}-Werte

Die WF_{blue}-Werte sind im Wesentlichen Erfahrungswerte der Werke. Sie setzen sich aus Verdampfungsverlusten bei der Holzstofferzeugung und bei der Papier-trocknung, der Feuchte im Fertigprodukt etc. zusammen und liegen in etwa in dem Bereich von $1 \pm 0,5$ m³/t, der sich bekanntermaßen aus der Differenz von Frischwasserentnahme und Abwassermenge ergibt. In Anbetracht der Werte WF_{total} spielen sie mit Anteilen von 1 % oder darunter nur eine untergeordnete Rolle.

WF_{grey}-Werte

Auch die Arbeit in [15] zieht als Grundlage für die WF_{grey}-Berechnungen die konventionellen Abwasserparameter aus den unter Kap. 6.3 erläuterten Gründen heran.

Alle WF_{grey}-Werte beruhen auf der Temperatur als kritischsten Parameter, mit Ausnahme des Wertes bei PM1 LWC. Dieser basiert auf einer im Vergleich zu PM1 ZDP um den Faktor 10 höheren AOX-Ablaufkonzentration.

Temperaturbasierte WF_{grey}-Werte unterliegen allerdings erheblichen Schwankungen, wie **Abbildung 10** veranschaulicht. Als T_{max} wurde ein $\delta T = 3$ °C zu T_{nat} angesetzt. Entsprechend stark variiert, vor allem bei Papierfabriken mit einem hohen Anteil Altpapier am Faserstoffeinsatz und demzufolge einem niedrigen WF_{green}-Wert, der gesamte Water Footprint WF_{total}.

Ähnliche Schwankungen, zwar nicht in dieser Größenordnung, dürfen auch für WF_{grey}-Werte angenommen werden, die auf chemischen Parametern beruhen, denn sie sind sowohl im Abwasser als auch im aufnehmenden Gewässer nicht konstant.

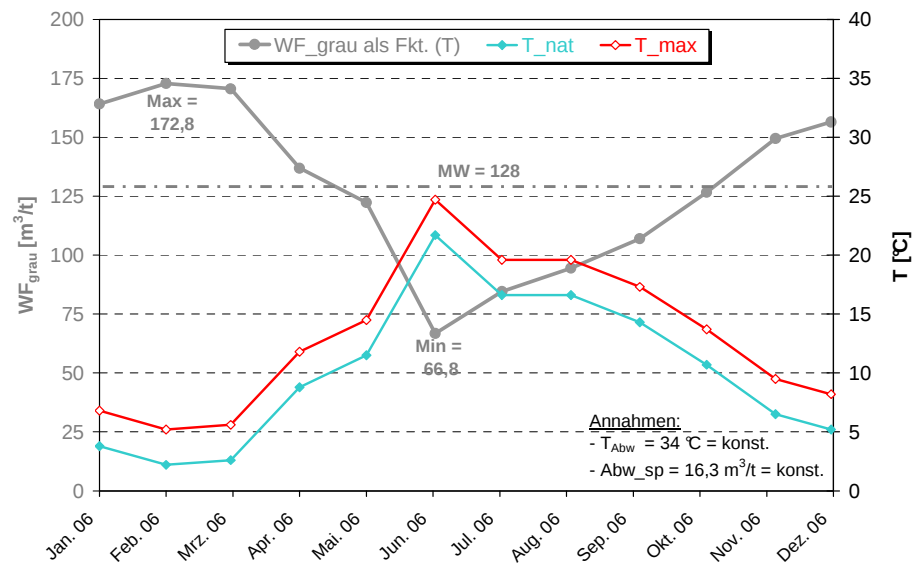


Abbildung 10: Abhängigkeit des WF_{grey} von den jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen im aufnehmenden Gewässer (Daten aus [15]) am Beispiel des Werkes „PM2“

Vergleich PM1 ZDP und PM2 ZDP

Abschließend werden die WF-Werte der Zeitungsdruckpapiere aus PM1 und PM2 im Detail betrachtet (s. **Abbildung 11**).

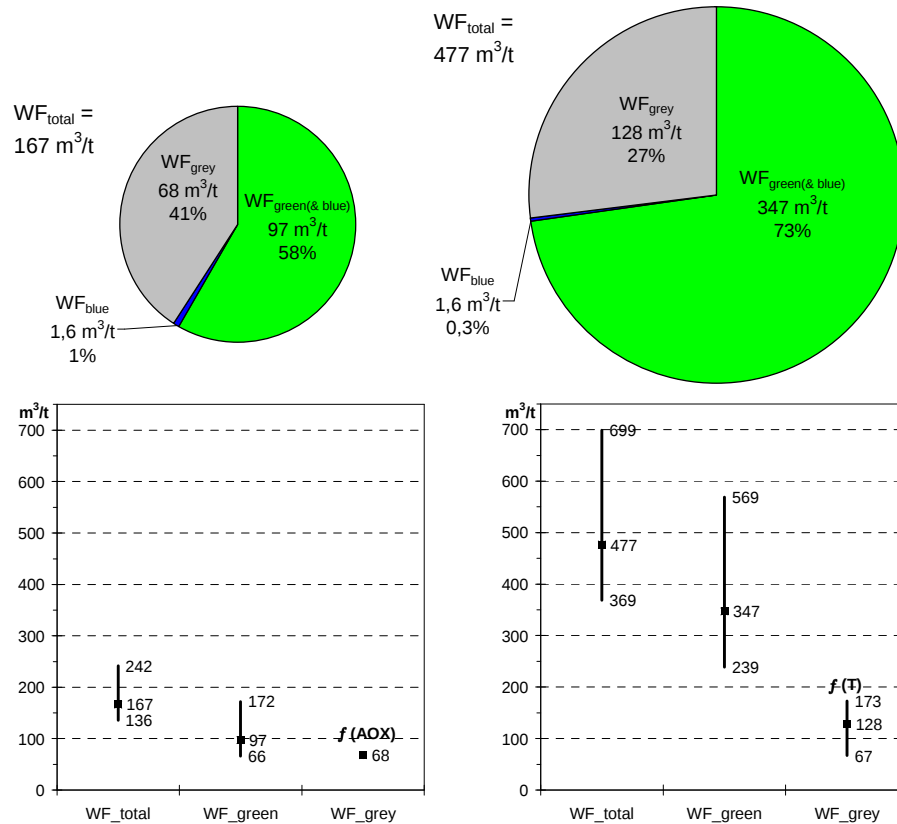


Abbildung 11: WF-Werte von PM1 ZDP (links) und PM2 ZDP (rechts) im Detail

Beide Werke stellen integriert Holzstoff her. Durch einen deutlichen höheren Holzstoffanteil in PM2 ZDP ist der indirekte WF_{green} -Anteil rund 3,5 mal so hoch als in PM1 ZDP. In beiden ZDP dominiert aber der indirekte WF-Anteil den WF_{total} . Die Unsicherheiten bei der WF_{green} -Berechnung (vgl. Kap. 6.2) führen zu recht großen Schwankungsbreiten, die sich natürlich auch im WF_{total} widerspiegeln.

Die WF_{grey} -Werte liegen mit ca. 70 bzw. 130 m³/t in einer ähnlichen Größenordnung und sind die maßgebliche Größe beim direkten Water Footprint der Papierherstellung.

Fazit

Graphische Papiere weisen in Abhängigkeit von den verschiedenen Einflussfaktoren (Faserstoffzusammensetzung, Sägewerksabfälle vs. Durchforstungsholz, Abwasserqualität, Wasserqualität des aufnehmenden Gewässers, etc.) stark unterschiedliche WF-Werte auf. Bezogen auf den Prozess der Papierherstellung dominiert der indirekte WF den WF_{total} .

Der indirekte WF von Papierprodukten wird durch das beim Baumwachstum verdunstete Wasser, also durch WF_{green} , der direkte WF-Anteil durch den abwasserbedingten WF_{grey} -Anteil bestimmt.

7.3 UPM-Kymmene Corporation

Betrachtete Werke und Produkte

In der Pilotstudie von UPM [20], die mit Unterstützung des WFN durchgeführt wurde, wurden zwei Papiere des Standortes Nordland betrachtet:

- ungestrichenes Papier WFU (wood-free uncoated), 80 g/m²
- gestrichenes Papier WFC (wood-free coated), 150 g/m²

Beide Papiere werden aus 100 % Marktzellstoff hergestellt, der aus konzerneigenen Zellstofffabriken bezogen wird.

Bei der Berechnung des WF wurden darüber hinaus die WF-Werte der eingesetzten Zellstoffe (ZS) aus den UPM-eigenen Werken Fray Bentos (Uruguay) sowie Pietarsaari und Kaukas in Finnland und der von Maisstärke sowie von PCC (precipitated calcium carbonate) berücksichtigt.

WF-Werte im Überblick

Tabelle 3: WF-Werte aus der UPM-Pilotstudie zu zwei Papieren des Standortes Nordland

alle Werte in m ³ /t	<i>WF_{subtotal}</i>	<i>WF_{green}</i>	<i>WF_{blue}</i>	<i>WF_{grey}</i>
Indirekte WF-Werte¹⁾	Vorprodukte			
ZS UPM Fray Bentos	1.700	1.054	7	639
ZS UPM Pietarsaari	2.950	2.862	89	0 ²⁾
ZS UPM Kaukas	9.700	2.425	10	7.265
Maisstärke	663	660	3	
PCC			1	
Direkte WF-Werte	Papierherstellung in Nordland			
WFU UPM Nordland	29		5	24
WFC UPM Nordland	22		4	18
WF_{total}	Fertigprodukt			
WFU UPM Nordland	2.632 ³⁾	1.579	26	1.026
	13 l/A4-Blatt	60 %	1 %	39 %
WFC UPM Nordland	2.160 ³⁾	1.296	22	842
	20 l/A4-Blatt	60 %	1 %	39 %

¹⁾ nicht gewichtet auf Fertigprodukt WFU und WFC

²⁾ Einleitung ins Meer; spezifische Abwassermenge dennoch als *WF_{blue}* berücksichtigt

³⁾ berechnet aus den Angaben für 1 Blatt A4-Papier von 13 bzw. 20 Liter

Diskussion

Es würde zu weit führen, alle Ergebnisse der UPM-Pilotstudie hier darzustellen und im Einzelnen zu diskutieren, hierzu wird auf den im Internet frei zugänglichen Bericht unter [20] verwiesen. Stattdessen sollen ein paar wenige auffällige Punkte aufgegriffen und erläutert werden.

WF_{green} im Werk Fray Bentos

Dieser liegt deutlich niedriger als die Werte der finnischen Schwesterwerke. Zwar ist die Evapotranspiration in Uruguay rund dreimal so hoch, allerdings ist auch der Holzertrag rund fünfmal höher als in Finnland, so dass insgesamt ein geringer WF_{green} -Wert resultiert.

WF_{blue} im Werk Pietarsaari

Brauchwasserentnahme und Abwassereinleitung erfolgen aus bzw. in verschiedene Einzugsgebiete. Daher ergibt sich ein im Vergleich zu den anderen Werken etwas höherer WF_{blue} -Wert für den Zellstoff.

WF_{grey} im Werk Kaukas

In allen betrachteten UPM-Werken ist bei der WF_{grey} -Berechnung der AOX der kritischste Parameter. Mangels verfügbarer Daten für c_{max} (AOX) in Finnland und Uruguay wurde der für das Werk Nordland ermittelte Wert von 50 µg/l herangezogen und gleichzeitig c_{nat} (AOX) = 0 gesetzt. Somit ist der Nennerterm „ $c_{max} - c_{nat}$ “ in Gleichung (11) in allen Werken identisch. Daraus ergibt sich, dass der Zählerterm „ $Effl \times c_{effl} - Abstr \times c_{act}$ “ erheblich größer sein muss als in den anderen Werken, so dass ein deutlich höherer WF_{grey} -Wert für Kaukas resultiert.

WF_{total} der Fertigprodukte

99 % des gesamten Water Footprint der Fertigprodukte WFU und WFC stammen aus dem Zellstoff und sind somit indirekte WF-Anteile. Lediglich 1 % des Water Footprint ist auf die Prozesse der Papierherstellung in Nordland zurückzuführen. Der sehr niedrige direkte WF-Anteil aus der Papierherstellung wird zu 80 % durch den WF_{grey} dominiert.

Beanstandete Punkte

An der Pilotstudie haben ein Stab von 20 UPM-Mitarbeitern sowie zwei Mitarbeiter des WFN mitgewirkt. Entsprechend detailliert konnten Schwachstellen und zu verbessernde Punkte des WF-Konzeptes bei dessen Anwendung auf Zellstoff- und Papierprodukte identifiziert werden. Auf diese soll im Folgenden kurz eingegangen werden.

WF-Werte für sich alleine können irreführend sein

WF-Werte für sich alleine haben nur eine sehr beschränkte Aussagekraft und können im schlimmsten Fall irreführend sein. Ein großer WF-Wert kann durchaus „nachhaltiger“ sein als ein kleiner. Vielfältige Faktoren und Umstände sind hierbei zu berücksichtigen: die einzelnen WF-Anteile, geografische, klimatische und lokale Verhältnisse und Randbedingungen sowie deren Schwankungen. Die Richtlinien für die Kommunikation für die Nutzung von WF-Werten müssen dringend weiter entwickelt werden. Der WF ist nicht der umfassende Indikator, sondern nur ein Bestandteil von weiteren Umwelt- bzw. Nachhaltigkeitskriterien wie Carbon Footprint, LCA, forstwirtschaftliche Managementpraktiken etc.

WF_{green} „dient“ vielfältigen Zwecken

Selbst wenn der gesamte Holzertrag eines Waldes ausschließlich zur Erzeugung von Zellstoff und Papier genutzt wird, „dienen“ die Bäume vor der Abholzung und damit auch der einhergehende WF_{green} -Wert vielfältigen Zwecken: Wälder schützen vor Erosion und Überflutung, reinigen Wasser und Luft, binden CO₂, etc.

Wälder stellen außerdem bevorzugte Gebiete für die Trinkwassergewinnung dar und haben eine wichtige Funktion bei der Regelung von Abflussspitzen [21]. Dem sollte bei der Berechnung des WF_{green} -Wertes Rechnung getragen werden.

WF_{blue} ist nach der Zellstoff- und Papierherstellung wieder verfügbar

Der größte WF_{blue} -Anteil ist das bei der Zellstoff- oder Papiertrocknung verdunstete Wasser, das in die Umgebungsluft abgegeben wird. Es kann zwar lokal nicht wieder unmittelbar genutzt werden, global betrachtet wird es aber wieder Bestandteil des natürlichen Wasserkreislaufes und steht somit für einen erneuten Gebrauch bereit. Der Begriff „Wasserverlust“ sollte also vor diesem globalen Hintergrund neu beschrieben werden.

WF_{grey} - Festlegung des kritischsten Parameters

Es wird zu Recht bezweifelt, dass chemische Parameter geeignet sind, die lokalen Umweltauswirkungen einer Abwassereinleitung ausreichend zu beschreiben. Vielmehr sollte in Erwägung gezogen werden, über aquatotoxikologische und/oder biologische Parameter den Zustand des betroffenen Gewässers und den Einfluss auf den Zustand durch die Abwassereinleitung zu erfassen und zu bewerten.

Ferner wird bemängelt und als Schwachpunkt bewertet, dass bei einer Abwassereinleitung ins Meer (wie z. B. am Standort Pietarsaari) der $WF_{grey} = 0$ wird, da zur Verdünnung des kritischsten Parameters bis zur akzeptablen Konzentration kein Frischwasser benötigt wird. Dies impliziert, dass mit dieser Abwassereinleitung keine potenziellen Umweltauswirkungen verbunden sind, was natürlich nicht zwangsweise der Fall ist.

Weitere Kritikpunkte

Weitere Kritikpunkte richten sich gegen den Mangel an verfügbaren Daten z. B. zu C_{act} , C_{nat} , C_{max} etc. Stark aggregierte Daten, vgl. z. B. ET_a in Kap. 6.2.2, konnten durch Auswertung konzerneigener Monitoringdaten verfeinert werden. Der Aufwand ist jedoch enorm und nach Ansicht des Autors kann dies nur von Konzernen mit eigenen Waldgebieten und entsprechender Personalkapazität bewerkstelligt werden.

Fazit

Bezüglich der Zusammensetzung des gesamten Water Footprint lassen sich im Grunde auch aus der UPM-Pilotstudie die gleichen Schlussfolgerungen ziehen wie aus der Diplomarbeit Kellner (vgl. Absatz „Fazit“ und Kap. 7.2).

Trotz der Unzulänglichkeiten bewertet UPM die WF-Methode als ein Tool, um den Wassergebrauch und -verbrauch sowohl in den vorgelagerten Prozessschritten als auch in der Papiererzeugung selbst zu analysieren und zu bewerten. Die Erfahrungen von UPM weisen im Weiteren aber auch auf die Schwächen der WF-Methode hin. Dies betrifft vor allem die Anwendbarkeit der Methode auf natürliche Wasserkreisläufe in Forstökosystemen sowie die fehlenden einheitlichen Bewertungsmaßstäbe der unterschiedlichen Wassernutzungen hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen.

7.4 Stora Enso

Betrachtete Werke und Produkte

In der Pilotstudie von Stora Enso [22, 23, 24], die im Auftrag von ACE (Alliance for Beverage Cartons and the Environment) und in Zusammenarbeit mit WWF, CEPI und dem WFN durchgeführt wurde, wurde Flüssigverpackungskarton (LPB = liquid packaging board) des Standortes Skoghall betrachtet.

Der hergestellte LPB besteht zu 100 % aus Frischfasern, wovon rund 80 % integriert erzeugt und 15 ... 20 % als Marktzellstoff überwiegend aus Brasilien bezogen werden.

WF-Werte im Überblick

Tabelle 4: WF-Werte aus der Stora Enso-Pilotstudie zu LPB des Standortes Skoghall (aus [24])

Results, m ³ /ton LPB				
	Blue	Green	Grey	Total
Skoghall mill	1,9	-	-	1,9
Scandinavian forestry	-	1 669	-	1 669
Purchased pulp and related forestry	0,3	95	-	95
Chemicals (starch)	0,05	0,01	0,04	0,1
Purchased electricity	3,4	0,1	2,37	5,8
Purchased bio-fuels	-	423	-	423
Sum	6	2 186	2	2 194



18

Diskussion

Auch aus dieser Studie sollen nur einzelne wichtige Punkte herausgegriffen und betrachtet werden.

Zusammensetzung WF_{total}

Im Hinblick auf die Zusammensetzung von WF_{total} aus indirekten, direkten sowie grünen, blauen und grauen Anteilen bestätigen sich - mit Ausnahme des WF_{grey} - im Grunde die Erkenntnisse aus den vorangehenden Kapiteln 7.2 und 7.3.

$$WF_{grey} = 0$$

Lt. der Studie werden die Einleitebedingungen auf Basis der IVU-Richtlinie und unter Berücksichtigung der vorherrschenden Wasserqualitäten festgelegt. Da die Einleitebedingungen sicher eingehalten (s. z. B. [25]) und die vorherrschenden Wasserqualitäten nicht beeinflusst werden, kommt das Projektkonsortium mit diesem emissionsbezogenen Ansatz zu dem Schluss, dass der $WF_{grey} = 0$ ist.

Hierdurch wird ein weiteres Dilemma im WF-Konzept, hier speziell bei der Berechnung des WF_{grey} , offenkundig. Es ist noch nicht eindeutig festgelegt, ob ein emissionsseitiger Ansatz gem. Gleichung (11) und wie von Kellner sowie UPM ver-

folgt oder ein emissionsseitiger Ansatz zur Berechnung von WF_{grey} angewendet werden soll. Letzterer impliziert, dass bei Einhaltung der Auflagen der WF_{grey} immer Null ist. Eine entsprechende Aussage erhielt der Autor auf Nachfrage auch während des Water Footprint training course im Februar 2010 in Amsterdam. Es ist jedoch zu bedenken, dass bei diesem Ansatz praktisch davon ausgegangen wird, dass mit der Abwassereinleitung – vergleichbar mit der Ableitung ins Meer (siehe UPM-Pilotstudie) keine Umweltauswirkungen verbunden sind.

Folgende Abschätzung gem. Gleichung (11) und analog zur UPM-Pilotstudie auf Basis des Parameters AOX drückt dieses Dilemma am Beispiel des Standortes Skoghall in Zahlen aus. Aus [23] sowie aus [25] lassen sich folgende Daten berechnen:

- $Effl$ = 58.980 m³/d
- $Abstr$ = 102.232 m³/d
- c_{effl} (AOX) = 0,708 mg/l

Ferner werden vom Autor folgende Daten übernommen bzw. angenommen:

- c_{max} (AOX) = 0,050 mg/l (vgl. UPM-Pilotstudie)
- c_{nat} (AOX) = 0 mg/l (vgl. UPM-Pilotstudie)
- c_{act} (AOX) = nicht bekannt

Nimmt man an:

- c_{act} (AOX) = 0,0 mg/l, resultiert ein $WF_{grey} = 425$ m³/t
- c_{act} (AOX) = 0,1 mg/l, resultiert ein $WF_{grey} = 321$ m³/t

Der WF_{grey} würde also bei diesem Ansatz ca. das 10- ... 14-fache der realen spezifischen Abwassermenge = 30 m³/t betragen und den o. g. WF_{total} von 2.194 m³/t nochmals um 15 ... 20 % erhöhen.

Es ist also zwingend erforderlich, eine abgestimmte, einheitliche und verbindliche Vorgehensweise zu erarbeiten.

Beanstandete Punkte

WF-Werte für sich alleine sind nicht aussagekräftig

Die Schlussfolgerung hier ist im Grunde identisch zur der in der UPM-Pilotstudie. Die Bedeutung der Bewertung der einzelnen Anteile und deren Umweltwirkungen ist immens, die Methodenentwicklung hierzu jedoch noch im Gange. Stora Enso hält es für erforderlich, in Abhängigkeit von dem Umfang der jeweiligen WF-Studien unterschiedliche Bewertungsmethoden anzuwenden.

Reduzierung des WF_{green} nur über Produktentwicklung sinnvoll

Beim untersuchten LPB beträgt der WF_{green} -Anteil am WF_{total} mehr als 99 %. Deshalb ist eine Reduzierung von WF_{total} nur über diesen Anteil sinnvoll möglich. Eine Verringerung der Evapotranspiration, also des WF_{green} , ist aber nur durch eine veränderte Vegetation möglich. Weitere Optionen sind:

- Intensivierung des Baumbestandes, um die benötigte Waldfläche zu reduzieren. Dies steht aber sehr wahrscheinlich im Widerspruch zur Gesetzgebung, zur Wald-/Holzzertifizierung und zum Schutz der Biodiversität.
- Erhöhung der Ressourceneffizienz des Rohstoffes Holz bei der Herstellung von LPB. Hierin sieht Stora Enso das größte Potenzial und priorisiert diesen Ansatz in der Produkt-FuE.

WF_{green} nachhaltig bewirtschafteter Wälder - Wasserverbrauch?

Bei der weiteren Methodenentwicklung zum WF-Konzept sollte diskutiert werden, ob die Evapotranspiration nachhaltig bewirtschafteter Wälder als Bestandteil des natürlichen Wasserkreislaufes als „Wasserverbrauch“ zu erfassen ist und somit zum WF_{green} beiträgt. Denn unabhängig davon, ob die Waldfläche bewirtschaftet wird oder nicht, ist die Evapotranspiration ein natürlicher Prozess beim Baumwachstum.

Mangelhafte/fehlende Datenbasis

Bei der Berechnung des WF von Vorprodukten, z. B. WF_{blue} von Stärke, musste auf Werte in Datenbanken zurückgegriffen werden, die im Grunde nicht für WF-Berechnungen geeignet sind und deshalb zu Problemen führten.

Fraglich ist auch, ob außerhalb Europas, wichtige Monitoringwerte zu Wasserqualitäten zur Verfügung stehen und die entsprechenden Berechnungen zum WF_{grey} mit einer halbwegs akzeptablen Genauigkeit überhaupt durchgeführt werden können.

WF_{grey}

Eine Reihe von offenen Punkten wird insbesondere zum WF_{grey} angesprochen, wobei Stora Enso vorschlägt, dass $WF_{grey} = 0$ ist, falls die Einleitegrenzwerte eingehalten werden (s. o.).

- Es ist nicht klar, wie die WF-Methodik mit unterschiedlichen Umweltwirkungen von Parametern umgeht. So kann der CSB zur Eutrophierung beitragen, der AOX hingegen hat möglicherweise toxische Effekte auf Organismen im Wasser.
- Die Berücksichtigung weiterer industrieller Einleiter in das gemeinsam genutzte Gewässer und deren Wirkungen ist noch nicht geklärt.
- Auch die Bewertung einer thermischen Belastung ist noch offen.
- Zwar können kritische Stoffe aus den Vorprodukten, z. B. Insektizide aus der Forstindustrie, beim WF_{grey} des Fertigproduktes berücksichtigt werden, überdecken dann aber möglicherweise Umweltwirkungen aus dem eigentlichen Herstellungsprozess des betrachteten Produktes.

Elektrizität aus Wasserkraft

Dieser Aspekt wurde in der Stora Enso-Pilotstudie gezielt ausgeklammert, würde aber bei Berücksichtigung den größten Anteil am WF_{total} haben. Betroffene Bereiche sind z. B. der Strombezug aber auch der Materialtransport mittels elektrischer Eisenbahnen.

Pumpspeicherwerke und Stauseen haben einen, wenn auch zeitlich begrenzten, Einfluss auf die Wasserverfügbarkeit im Wasserkörper sowohl flussaufwärts als auch flussabwärts und somit auch auf die umliegenden Wassereinzugsgebiete. Beim Passieren der Turbinen sind auch negative Einflüsse auf die im Wasser lebenden Organismen nicht auszuschließen.

Es ist aber derzeit fraglich, ob die Wasserkraftnutzung als Verbrauch zu betrachten ist und deshalb im Water Footprint berücksichtigt werden muss.

Fazit

Zweifelsohne ist der Zugang zu Frischwasser und Wasserknappheit schon heute eine der zentralen Fragen mit stärker werdender Bedeutung in der Zukunft [26]. Vor diesem Hintergrund strebt Stora Enso ein tieferes Verständnis zum Einfluss seiner geschäftlichen Aktivitäten und seiner Produkte auf den Water Footprint und auf die Wasserknappheit an. Durch die Pilotstudie konnten hierzu detaillierte Informationen zu den grünen, blauen und grauen WF-Anteilen zum Produkt Flüssigkarton aus dem Werk Skoghall und zu anderen holzbasierten Produkten erhalten werden.

Gleichzeitig legte die Studie eine Reihe von Unzulänglichkeiten im WF-Konzept offen, sowohl bei der Berechnung als auch bei der Methodik zur Bewertung der verschiedenen WF-Anteile. Stora Enso sieht hier deshalb noch einen erheblichen Entwicklungsbedarf und will sich entsprechend engagieren.

7.5 Weitere Publikationen, Aktivitäten & Statements von Firmen und NGOs

Einleitung Bei einer einfachen Internetrecherche stösst man mittlerweile auf eine Reihe von Treffern, die die Stichworte „Water Footprint“ und „Papier“ zum Inhalt haben. Nachfolgend ein kurzer Überblick hierzu ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

WF-Werte zu Toilettenpapier

In [27] werden zwei verschiedene Methoden zur Berechnung des WF von Toilettenpapier auf Frischfaserbasis in Neuseeland untersucht und miteinander verglichen. Der Bilanzraum entspricht dem LCA-Ansatz „gradle-to-grave“.

Die erste Methode wird als „volumetrischer Ansatz“ gem. der WFN-Methodik bezeichnet, bei der zweiten Methode steht die Bewertung der Umweltwirkungen „Impact assessment approach“ im Vordergrund. Hervorzuheben ist, dass beim „freshwater impact assessment, FEI“ der zweiten Methode als einzige Wasserqualität „Blue Water“ berücksichtigt wird und davon auch nur der Anteil, der durch die Herstellung dem Entnahmegebiet verloren geht, d. h. dass das dorthin abgeleitete Abwasser nicht berücksichtigt wird.

Bezugsgrösse ist in beiden Fällen „1 kg Toilettenpapier“, die Ergebnisangabe erfolgt in kg bzw. Liter (WFN-Methodik) bzw. in „kg ecosystem water equivalents, kg ecosys. H₂O-e“. Durch die unterschiedlichen Herangehensweisen sind extreme Ergebnisunterschiede vorprogrammiert. Zusammengefasst lauten sie:

Tabelle 5: WF-Werte zu 1 kg Toilettenpapier nach der WFN- und nach der FEI-Methodik (aus [27])

Prozessschritt	WFN-Methodik [kg]	FEI-Methodik [kg ecosys. H ₂ O-e]
Baumwachstum	1392,8	vernachlässigbar
Zellstoffherstellung	119,5	0,13
Toilettenpapierherstellung	203,6	0,18
Gebrauch	45,6	0,01
Total	1761,5	0,32

Auf die Bewertungsaspekte in der WFN-Methodik wurde hier verzichtet und stattdessen die FEI-Methodik angewendet. Es zeigt sich erneut, dass die reine WF-Wertewiedergabe so gut wie keine Information bietet. Im Gegenteil, würden diese Zahlen auf verschiedenen Toilettenpapieren ohne weitere Hintergrundinformation zu einem Verbraucher gelangen, muss er sich bei derartigen Unterschieden zwangsweise für das Produkt mit dem erheblichen geringeren WF-Wert entscheiden. Eine rationale Entscheidungsgrundlage ist jedoch nicht gegeben.

Finnish Forest Industries Federation

Interessant ist auch das Statement der Finnish Forest Industries Federation [28] „... Grey water, on the other hand, means polluted water that is returned to the water system. There is no grey water in Finland as all waste water is purified.“ Im Grunde entspricht das dem Ansatz von Stora Enso, ist aber nach Auffassung des Autors zu oberflächlich, da kein Abgleich mit Ist- oder Zielzuständen des aufnehmenden Gewässers vorgenommen wird.

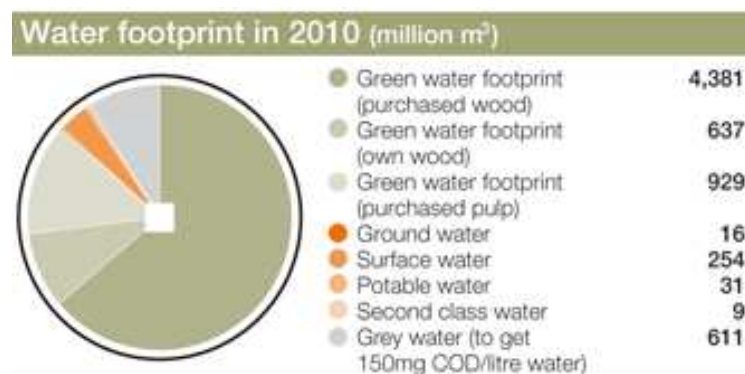
Holmen Paper

Holmen Paper beteiligt sich seit 2010 in einem sektorumfassenden schwedischen Projekt zur Berechnung des WF. Indem sie Daten über Wasserströme etc. in den verschiedenen Werken zur Verfügung stellen, ist es ihnen möglich, erste WF-Werte über ihre Prozesse und Produkte zu erhalten [29].

Mondi Group

Die Mondi-Gruppe hat auf ihrer Webseite die Ergebnisse einer konzernweiten WF-Berechnung veröffentlicht [30], die zum Bezugsjahr 2010 erfolgt ist.

Tabelle 6: WF-Werte der Mondi-Gruppe



Auch hier dominiert der WF_{green} -Anteil mit 86,6 %, gefolgt von WF_{grey} mit 8,9 % und WF_{blue} mit 4,5 %. Als maßgeblicher Parameter zur WF_{grey} -Berechnung wurde der CSB mit einem Zielwert nach Verdünnung mit Frischwasser i. H. v. 150 mg/l angenommen.

Die erarbeiteten Daten dienen als Grundlage für die Bewertung der Umweltwirkungen, insbesondere vor dem Hintergrund, dass einige Produktionsanlagen in wasserarmen Regionen (z. B. Südafrika) liegen und die Prognose der zukünftigen Wasserverfügbarkeit sowie die ökologischen und sozialen Auswirkungen für die Standortesicherung von großer Bedeutung sind.

Smurfit Kappa Group

Die Smurfit Kappa Group weist auf ihrer Webseite auf die Mitgliedschaft (seit Anfang 2011) und die aktive Mitwirkung im WFN hin. WF-Werte zu Standorten und Produkten sind jedoch noch nicht verfügbar.

NewPage Paper Mill, Michigan

Das Werk beteiligt sich an einem Projekt, in dem die WF-Methodik am Beispiel von vier Industriebetrieben an den Großen Seen in Michigan erprobt werden soll [31].

Kimberly & Clark (KC)

Auch KC sucht kontinuierlich nach Wegen und Maßnahmen, den globalen WF an seinen Produktionsstandorten zu verringern [32]. In einer WF-Studie zu einem Toilettenpapier wurde ermittelt, dass 85 % des WF beim Gebrauch anfallen, nämlich durch die Toilettenspülung selbst. Dies gab Anlass zur Entwicklung eines neuen Produktes, dem „Scott Naturals Smart Flash bag“. Interessant ist hier, dass bei der WF-Betrachtung der Bilanzrahmen bis hin zum Verbraucher gezogen wurde.

**ProPapier und
Pöyry's Green
Mill Index™**

ProPapier PM2 strebt im Hinblick auf Nachhaltigkeit in der Papiererzeugung eine Vorreiterrolle an [33]. Um entsprechende Verbesserungsmaßnahmen ableiten zu können, würde es von Pöyry anhand des entwickelten Green Mill Index™ untersucht. Lt. Aussage von Pöyry spielt der WF im Green Mill Index™ keine Rolle [34], da Untersuchungen gezeigt haben, dass rund 99 % des WF auf das Baumwachstum zurückzuführen sind.

Bei dieser Aussage wurde offensichtlich nicht berücksichtigt, dass dies nur für Papierfabriken mit überwiegendem Frischfaseranteil bei den Faserstoffen zutrifft, am Standort ProPapier PM2 aber zu 100 % Altpapier eingesetzt wird.

**SCA
Containerboard**

SCA Containerboard betrachtet den WF auf Produktebene skeptisch, da die Wasserverfügbarkeit von Region zu Region extreme Unterschiede aufweist. Was in einer Region als „hoher“ Wasserverbrauch gilt, kann in einer anderen Region als vernachlässigbar eingestuft werden [35].

Tetra Pak

Tetra Pak arbeitet derzeit, auch im Rahmen der Mitgliedschaft in ACE (s. Stora Enso-Pilotstudie), an industrieweit abgestimmten Methodiken und Standards zur WF-Berechnung und -Bewertung [36]. Hierdurch sollen die Prozessschritte auf dem Weg zum Produkt identifiziert werden, die den größten Wasserverbrauch verursachen und somit das größte Potenzial zur Verringerung bieten. Der gesamte Wasserverbrauch und die Anteile der verschiedenen Stufe sind bereits erfasst (s. **Abbildung 12**).

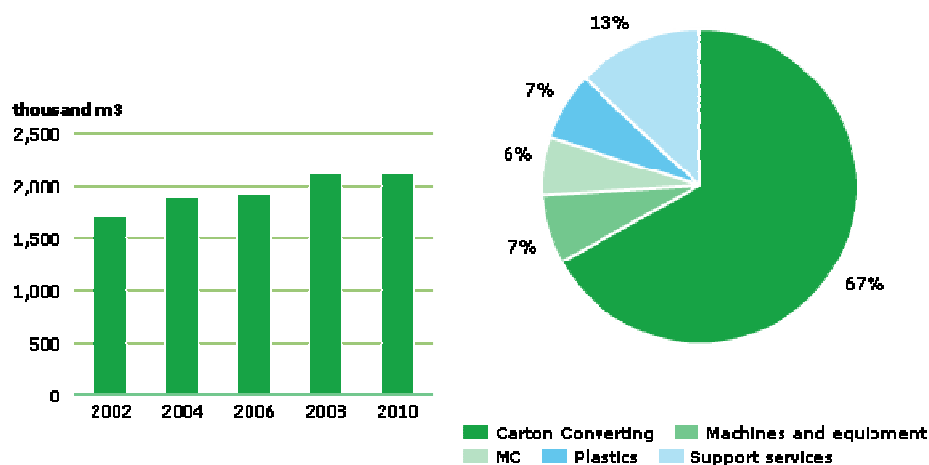


Abbildung 12: Wasserverbrauch bei Tetra Pak
li.: Gesamtverbrauch; re.: aufgeteilt nach Prozessschritten

WPV

Auch die Wirtschaftsverbände Papierverarbeitung e. V. (WPV) betrachten den Water Footprint von Produkten und Verpackungen als eine der wesentlichen aktuellen sozio-ökonomischen Herausforderungen für die PVV-Industrie [37].

Anlagenbau

Ein Blick über die Zellstoff- und Papierindustrie hinaus zeigt, dass z. B. der Anlagenbau „Abwasserreinigung“ den Water Footprint zu Werbezwecken nutzt. Durch konventionelle oder neue Reinigungsverfahren „ist es leichter denn je, den WF zu reduzieren“ [38]. Dieser oberflächliche „Missbrauch“ des Begriffes führt sicherlich nicht zu einem besseren Verständnis der Methodik.

Andere wiederum entwickeln eigene Ansätze zum Water Footprint [39], da ein volumenbezogener Ansatz zu wenig Aussagekraft besitzt. Hier aber wird übersehen, dass in der vom WFN vorgeschlagenen WF-Methodik die Bewertung der WF-Werte ein ganz elementares Element darstellt.

Fazit

Ohne hier nochmals die offenen Fragen, Unzulänglichkeiten etc. herauszustellen, lässt sich festhalten, dass sich mittlerweile eine Vielzahl von Firmen mit dem Water Footprint auseinandersetzen.

Auffällig ist, dass dies ausschließlich größere Unternehmen bzw. Konzerne oder Verbände sind, die über entsprechende Personalkapazitäten verfügen und sich eigenes Know-how zum Water Footprint aneignen können.

8 Normung Water Footprint

Einordnung

Die mit der Bearbeitung der Norm ISO 14046 „Water Footprint – Requirements and Guidelines“ befasste Working Group WG 8 ist wie folgt in der ISO eingeordnet:

ISO

↳ Technical Committee TC 207 “Environmental Management”

↳ Subcommittee SC 5 „Life Cycle Assessment“

↳ Working Group 8 „Water Footprint“

Mitgliederdetails sind nur intern verfügbar

Das Interesse an dieser Norm ist gewaltig. So waren bei der Sitzung des ISO/TC 207 vom 25.06. – 01.07.2011 in Oslo bei der Water Footprint-Session 81 Teilnehmer aus 30 Nationen und von 4 Liaison-Organisationen anwesend [40].

Eine persönliche Anfrage beim WG 8-Sekretariat sowie PTS-interne Recherchen über DIN ergaben, dass die detaillierten Mitgliederangaben nur den WG8-Mitgliedern vorbehalten sind. Ferner wurden UPM und Stora Enso nach den Aktivitäten in der Normung befragt, so dass folgende Informationen in Erfahrung gebracht werden:

- in der WG 8 sind ca. 40 Nationen und 10 Liaison-Mitglieder vertreten; neben der Industrieseite auch Behörden, Universitäten und Beratungsfirmen sowie einige wenige NGO
- seitens der Forstwirtschaft bzw. der Zellstoff- und Papierindustrie wurde dem Autor eine Zahl von 2 bis 3 Industrieunternehmen aus Finnland und Schweden genannt sowie Beratungsfirmen
- von deutscher Seite sind dabei: Volkswagen, Unilever, Henkel, Red Bull, PE International, BASF, Bundesverband Bürgerinitiativen
- Stora Enso arbeitet sowohl in der finnischen als auch in der schwedischen Spiegelgruppe zur WG 8 mit
- Das VTT ist als finnisches Liaison-Mitglied in der WG 8 beteiligt, koordiniert ein „Finnish Forest Cluster“-Projekt und ist auch Mitglied in der CEPI Water Footprint Group

Die o. g. 10 Liaison-Mitglieder in der WG 8 entstammen den 12 Liaison-Organisationen, die auf der TC 207/SC5-Website [41] genannt sind:

- Consumers International CI (GB-London)
- European Commission EC (BE-Brüssel)
- European Environmental Citizens Organisation for Standardisation ECOS (BE-Brüssel)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO (IT-Rom)
- International Aluminium Institute IAI (GB-London)
- International Council on Mining and Metals ICMM (GB-London)
- International Dairy Federation IDF (BE-Brüssel)
- Latinoamerican Institute for Quality Assurance INLAC (MX-Mexiko)
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry SETAC (US-Pensacola)
- World Business Council for Sustainable Development WBCSD (CH-Conches)
- Water Footprint Network WFN (NL-Enschede)
- World Steel Association WSA (BE-Brüssel)

**Interessen
deutscher
Papierfabriken
nur indirekt
vertreten**

Vertreter deutscher Papierfabriken konnten also weder in der ISO/TC 207/SC 5/WG 8 noch in der DIN-Spiegelgruppe identifiziert werden. Zumindest durch die CEPI und durch einige skandinavische Konzerne werden die Interessen der deutschen Papierindustrie indirekt in die Arbeit der WG 8 eingebracht. Inwieweit hier der Schwerpunkt des Engagements mehr auf dem Sektor Forstwirtschaft oder in der Zellstoff- und Papierherstellung liegt, entzieht sich dem Autor.

Vor dem Hintergrund der spezifischen deutschen Randbedingungen (sehr hohe Recyclingquote, sehr hoher Standard in der Abwasserreinigung, etc.) wäre es jedoch wünschenswert, einen deutschen Vertreter in die WG 8 oder zumindest in die deutsche Spiegelgruppe zu entsenden.

**Zeitlicher
Horizont**

Bisher erschienen folgende Dokumente:

1. 07.04.2010: Working Draft ISO/WD 1; Referenznummer: ISO/TC 207/SC 05 N 004
2. 18.10.2010: ISO 14046 "Water Footprint - Requirements and Guidelines" Working Draft 2; Referenznummer: ISO/TC 207/SC 05/WG 8 N 10
3. 23.08.2011: ISO 14046 Water Footprint Working Draft 2
Referenznummer: ISO/TC 207/SC 05/WG 8 N 27

Bei den Dokumenten unter 1. und 2. handelt es sich um das Ergebnis von vorläufigen Aktivitäten. Die WG 8 und damit der Normungsprozess zu ISO 14046 ist erst Ende Juni 2011 offiziell als „ISO-Projekt“ mit einer begrenzten Laufzeit von drei Jahren gestartet worden. Die o. g. Dokumente liegen dem VDP vor und können dort eingesehen werden.

Für Ende Nov./Anfang Dezember 2011 war in Sao Paulo die nächste SC5/WG8-Sitzung geplant, in der die Rückmeldungen zum Dokument unter 3. besprochen/eingearbeitet werden sollten. Dokumente/Ergebnisse dieser Sitzung liegen dem Autor jedoch nicht vor.

**Inhalte der ISO
14046 WD2**

In der Norm geht es nicht um die Modalitäten zur Berechnung der grünen, blauen und grauen WF-Anteile, sondern sie gibt die methodischen Anforderungen und Richtlinien vor. Die Hauptkapitel sind untergliedert nach:

1. Anwendungsbereich
2. Normative Verweise
3. Begriffe und Definitionen
4. Methodischer Rahmen des Water Footprints
5. Berichterstattung/Ergebnisdarstellung
6. Kritische Durchsicht
7. Kommunikation
8. Literatur
9. Anhänge

Aufgrund dieser Strukturierung ist abzusehen, dass viele der noch offenen Fragen und kritisierten Punkte durch die WF-Norm unbeantwortet bleiben werden bzw. in dieser Norm nicht geklärt werden.

9 Identifizierte Schwachstellen und kritisierte Punkte

Vorbemerkung	In den Kapiteln 6 und 7 wurde eine ganze Reihe von Schwachstellen und zu kritisierenden Punkten in der WF-Methodik und in den zugrunde liegenden Berechnungsmodalitäten identifiziert und beschrieben. Im vorliegenden Kapitel sind diese nochmals in verkürzter Form zusammengefasst.
Stark aggregierte Daten, Vereinfachungen/nicht zutreffende Annahmen und Datenlücken	Die Berechnung der WF_{green}-, WF_{blue}- und WF_{grey}-Anteile in [2] „The green and blue water footprint of paper products ...“ und [7] „The water footprint assessment manual ...“ für Zellstoff- und Papierprodukte beruht auf • z. T. sehr stark aggregierten Daten, z. B. ET_a, • vielerlei Vereinfachungen, z. B. nur drei Baumarten, • für Deutschland nicht zutreffenden Annahmen, z. B. f_{value} oder $f_{recycling}$ • und für viele Variable fehlen schlichtweg die erforderlichen Daten, z. B. C_{nat}, C_{max} etc. Insofern müssen die publizierten WF-Werte stark angezweifelt werden.
WF_{green} und WF_{blue} nur als Summe quantifizierbar	Die im Grunde für die WF-Bewertung so wichtige Differenzierung zwischen WF_{green} und WF_{blue} ist beim Baumwachstum nicht bzw. im Falle von bewässerten Waldplantagen nur bedingt möglich. Zwar spielt dieser Umstand in regenreichen Regionen keine Rolle, doch in wasserärmeren Gebieten können wichtige Schlussfolgerungen deshalb nicht abgeleitet werden.
WF_{green} dient auch anderen Zwecken	Selbst wenn der gesamte Holzertrag eines Waldes ausschließlich zur Erzeugung von Zellstoff und Papier genutzt wird, „dienen“ die Bäume vor der Abholzung und damit auch der einhergehende WF_{green} -Wert vielfältigen Zwecken: Wälder schützen vor Erosion und Überflutung, reinigen Wasser und Luft, binden CO_2 , etc.. Dem sollte bei der Berechnung des WF_{green} -Wertes Rechnung getragen werden.
WF_{green} ist Bestandteil des natürlichen Wasserkreislaufs	Unabhängig davon, ob und wieviel Holzertrag in nachhaltig bewirtschafteten Wäldern wasser-/regenreicher Regionen erwirtschaftet wird, ist der daraus resultierende WF_{green} Bestandteil des natürlichen Wasserkreislaufs. Die folgende Abbildung 13 veranschaulicht dies am Beispiel der borealen Wälder Finnlands. Die Wasserbilanz verdeutlicht zudem, dass in diesen Regionen erheblich mehr Regen niedergeht, als durch die Evapotranspiration Wasser in die Atmosphäre abgegeben wird, „ WF_{green} “ ist also im Überschuss vorhanden. Seine Nutzung in derartigen Regionen in Verbindung mit nachhaltiger Forstwirtschaft führt also zu keinerlei nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt bzw. auf den Wasserhaushalt. Die Sinnfälligkeit seiner Berücksichtigung im WF_{total} ist deshalb fragwürdig.

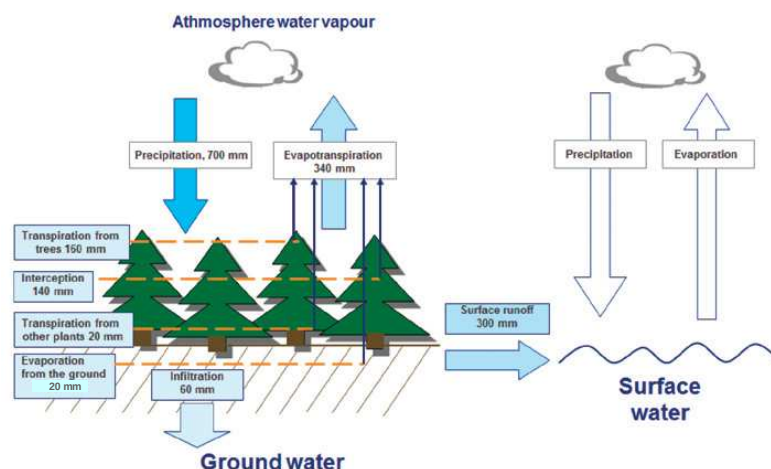


Abbildung 13: Wasserkreislauf/-bilanz in den borealen Wäldern Finnlands (aus [20], überarbeitet)

Sägewerkssreste, Durchforstungs- holz, f_{value}

Auf der Basis des bisherigen WF-Konzeptes besitzen Holz und demnach auch Sägewerkssreste einen sehr hohen WF-Wert der - von Plantagenholz abgesehen – ausschließlich/überwiegend aus WF_{green} besteht. Außer der stofflichen Nutzung zur Zellstoff- und/oder Papierherstellung ist z. B. auch ein Einsatz in der Spanplattenindustrie möglich. Eine thermische Nutzung dieser Sägewerkssabfälle kann z. B. in Form von Holzpellets erfolgen.

Aus Sicht der Papierindustrie und vor dem Hintergrund der Mehrfachnutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen sollte vor der thermischen zunächst eine stoffliche Nutzung erfolgen. Dieser Nutzungskaskade müsste bei der Berechnung von WF-Werten von Papierprodukten im Sinne eines niedrigeren WF-Wertes Rechnung getragen werden. Eine ähnliche Überlegung lässt sich auch für Durchforstungsholz anstellen, das mit Sägewerkssresten die zweite wichtige Holzquelle ist.

Bei Sägewerkssresten auf jeden Fall, aber auch bei Durchforstungsholz, müsste unter Berücksichtigung einer Nutzungskaskade ein f_{value} von (deutlich) kleiner 1 zur WF-Berechnung herangezogen werden. Ein genauer Wert lässt sich nur durch weitere Recherchen und Stoffstrombetrachtung und -analyse der Holznutzung ermitteln.

Zusammenfassung von WF_{green} , WF_{blue} und WF_{grey} in einer Zahl kritisch

Die Zusammenfassung von drei in ihrer Bedeutung unterschiedlichen WF-Anteilen, nämlich grün mit blau gegenüber grau ist kritisch, da es sich bei den beiden Ersten um „reelle“ Verbräuche handelt, beim grauen WF hingegen um eine „virtuelle Größe“.

WF_{grey} - Berechnung

Grundsätzlich wurde mit Gleichung (11) eine nachvollziehbare Berechnungsgrundlage für WF_{grey} vorgeschlagen. Dennoch kann die Grundidee zum WF_{grey} unterschiedlich ausgelegt werden und lässt zwei mögliche Ansätze zu. Hält man die Einleitegrenzwerte sicher ein, resultiert immer ein $WF_{grey} = 0$ oder man wendet Gleichung (11) an und es resultiert ein Wert von mehreren Hundert oder Tausend m^3/t . Eine Vergleichbarkeit von WF_{grey} -Werten ist dann nicht mehr gegeben.

Es ist deshalb zwingend erforderlich, eine abgestimmte, einheitliche und verbindliche Vorgehensweise zu erarbeiten.

WF_{grey} : Bezug auf kritischsten Stoff nicht zielführend

Eine ausgefeilte Spurenstoffanalytik ist imstande, in jedem kommunalen oder industriellen Abwasser einen kritischen antropogenen Spurenstoff zu ermitteln. Für diesen gilt dann $c_{nat} = 0$ und u. U. auch $c_{max} = 0$. Hierdurch geht der $WF_{grey} \rightarrow \infty$, was bei der Ableitung von Maßnahmen zur Verringerung des WF sicherlich nicht zielführend ist.

WF_{grey} : Chemische vs. ökotoxikologische Parameter

Zweifelsohne ist die Bewertung der Umweltwirkungen durch die Einleitung von Abwässern in Oberflächengewässer von großer Bedeutung. Es ist aber offenkundig, dass chemische Parameter oder Spurenstoffkonzentration nicht oder nur bedingt geeignet sind, die Gewässergüte ausreichend zu beschreiben. Vielmehr müssen hier zukünftig ökotoxikologische Wirkungen verstärkt zur Geltung kommen und auch bei der Berechnung berücksichtigt werden. Denkbar wäre hier z. B. auch, dass der WF_{grey} auf der Basis eines noch zu definierenden Satzes von Leitparametern berechnet wird, wodurch auch die Vergleichbarkeit verbessert werden würde.

WF-Werte allein haben keine Aussagekraft

Aufgrund des komplexen Zusammenspiels von grünen, blauen, grauen, indirekten und direkten Anteilen am WF_{total} besitzt ein alleiniger WF_{total} -Wert praktisch keine Aussagekraft. Der WF ist zwingend vor dem Hintergrund der jeweiligen lokalen Gegebenheiten wie Wasserqualität/-verfügbarkeit, Umweltqualitätsanforderungen, klimatische/hydrogeologische Verhältnisse, saisonale Einflüsse/Besonderheiten etc. zu interpretieren und hinsichtlich seiner Umweltwirkungen zu bewerten.

10 Fazit und Handlungsempfehlungen

10.1 Aktive Begleitung der weiteren Entwicklungen

Wasser zunehmend im Blickpunkt

Bedingt durch die Bedeutung der Energiekosten an den Produktionskosten in der Papierindustrie und durch ihren enormen Preisanstieg in den vergangenen Jahren sowie durch die Diskussionen um die Ressourcenknappheit (Faserstoffe) wurde der Eindruck erweckt, dass das Thema „Wasser“ in den Hintergrund geraten war. Dass dem nicht so ist, davon zeugt eine Vielfalt [42] von Initiativen, Organisationen, Netzwerken usw., wie z. B. das CEO Water Mandate, UN Global Compact, Pacific Institut, CERES-Netzwerk, World Business Council for Sustainable Development, World Economic Forum etc. und nicht zuletzt das WFN.

Immerhin waren in den vergangenen fünf Jahren knapp 40 % der im Rahmen der Initiative CDP Water Disclosure 2010 [43] erfassten 150 Industrieunternehmen (302 wurden angeschrieben) aus den unterschiedlichsten Sektoren durch „Wasserereignisse“ negativ beeinflusst. Zu diesen „Wasserereignissen“ zählen neben Trockenheit und Überschwemmung auch eine sich verschlechternde Wasserqualität, Aufwendungen für die Wasser-/Abwasserbehandlung, steigende Wasserpreise, Strafen und Rechtsstreitigkeiten durch Wasserverschmutzung.

WF als Bestandteil nachhaltigen Wassermanagements – aktive Mitarbeit bei Weiterentwicklung

Zeitlich betrachtet nur ein Augenzwinkern entfernt von der Veröffentlichung des ersten Water Footprint(WF)-Wertes zu Papier, nehmen sich mittlerweile namhafte Papierkonzerne und Organisationen aus dem Forst- und Papiersektor des Water Footprint-Konzeptes an und integrieren es in die bestehenden Systeme und Zielsetzungen zum nachhaltigen Wassermanagement in der Forstwirtschaft sowie in der Zellstoff- und Papierherstellung [22, 44].

Die Firmen bzw. Konzerne, die sich näher mit der WF-Methodik auseinandergesetzt haben, stimmen darin überein, dass das WF-Konzept im Grunde ein möglicher Ansatz ist, den Wasserverbrauch und -gebrauch in der Wertschöpfungskette zu analysieren. Da aber in der derzeitigen Fassung noch eine Vielzahl von Schwächen und offenen Fragen vorliegt, ist eine Weiterentwicklung unter Mitwirkung der Zellstoff- und Papierindustrie und insbesondere im Hinblick auf den WF_{green} durch Forstökologen und Waldbesitzer zwingend erforderlich. Dies betrifft auch die korrekte Bewertung der mathematisch erfassten „Wasser-verbräuche“ hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen.

Auch der europäische Dachverband CEPI gibt zu erkennen, dass es an der Zeit ist, die Weichenstellungen beim Water Footprint-Konzept für unsere Branche mitzubestimmen und mitzugestalten [45] und bewertet die Reduzierung des Water Footprint als eine der zukünftigen Herausforderungen [46].

10.2 Empfehlungen

Normung	Da die Arbeiten an der ISO 14046 lt. Plan noch bis Mitte 2014 andauern werden, bietet sich zeitlich gesehen noch eine gute Chance, die Interessen der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie in die Norm einzubringen. Zumindest in der deutschen „DIN-Spiegelgruppe“ zur ISO/TC 207/SC 5/MG 8 sollte daher ein Repräsentant der deutschen Papierindustrie vertreten sein, um • im Konsens mit dem Verband und seinen Mitgliedsfirmen Änderungs-/Verbesserungs-/Ergänzungsvorschläge einzubringen • um durch sein Stimmrecht die Entscheidungen mit beeinflussen zu können und • um zeitnah die deutschen Unternehmen über die aktuellen Entwicklungen unterrichten zu können.
Angabe von Bereichen	Aufgrund der identifizierten Schwachstellen bei der WF-Berechnung und die sich daraus ergebenden Schwankungsbreiten der ermittelten WF-Werte sollten auch die Ergebnisse als „von ... bis ...“-Bereiche angegeben werden und nicht ausschließlich als fixer Wert.
Einleitparameter zur WF_{grey}-Berechnung	Bei der speziell für die Mehrzahl der deutschen Papierfabriken so bedeutenden Berechnung des WF_{grey} wird empfohlen, diese anhand der konventionellen Einleit-/Bescheidparameter CSB, BSB₅, $N_{gesamt\ anorganisch}$, Temperatur etc. durchzuführen und keine aufwändige Suche nach dem kritischsten Spurenstoff anzustreben. Zum Einen liegen darüber für das eigene Abwasser ausreichend Daten im Unternehmen vor und zum anderen sind Informationen zu diesen Parametern im aufnehmenden Gewässer leichter zu beschaffen und zuverlässiger als gelegentliche Analysen zu Spurenstoffen, sofern diese überhaupt schon durchgeführt wurden.
WF als Umwelt-/Produktindikator bis auf Weiteres außen vor lassen	Beim aktuellen Stand der WF-Methodik muss angeraten werden, auf die Angabe von WF-Werten auf Zellstoff-, Papier-, Pappe- und Kartonprodukten zu verzichten. Hintergrund sind die schon mehrfach angesprochenen Unzulänglichkeiten bei der Berechnungsprozedur sowie auch bei der Interpretation und Bewertung. Im Gegensatz zum Carbon Footprint hat der Water Footprint einen mehrdimensionalen Charakter und ohne nähere Informationen zu den verschiedenen WF-Anteilen und über das „wie viel“, „wo“ und „wann bzw. innerhalb welchen Zeitraums“ besitzt ein WF_{gesamt}-Wert derzeit praktisch keine Aussagekraft. Es jedoch zu erwarten und davon zeugen auch die Aktivitäten der Zellstoff- und Papierindustrie, dass der Water Footprint mittel- oder langfristig und nach angemessener Weiterentwicklung als weiterer Indikator bzw. Umweltparameter, z. B. bei den „paper profiles“ [47], Einzug hält.

11 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1:	Zielgruppen im INFOR-Projekt Nr. 140	4
Tabelle 2:	WF-Werte (m^3/t) und Zusammensetzung graphischer Papiere in österreichischen Papierfabriken (aus [15])	29
Tabelle 3:	WF-Werte aus der UPM-Pilotstudie zu zwei Papieren des Standortes Nordland	33
Tabelle 4:	WF-Werte aus der Stora Enso-Pilotstudie zu LPB des Standortes Skohall (aus [24])	36
Tabelle 5:	WF-Werte zu 1 kg Toilettenpapier nach der WFN- und nach der FEI-Methodik (aus [27])	40
Tabelle 6:	WF-Werte der Mondi-Gruppe	41
Abbildung 1:	Vorteile als WFN-Mitglied	10
Abbildung 2:	Komponenten des Water Footprint ([7], überarbeitet)	13
Abbildung 3:	Entwicklung der Mitgliederanzahl im WFN (S/RP = sponsoring/regular partner, DE = Deutschland, PP = pulp & paper)	14
Abbildung 4:	Indirekte und direkte WF-Anteile in der Wertschöpfungskette Papier	15
Abbildung 5:	Berücksichtigung wachstumsphasenabhängiger Verdunstungsfaktoren einer Nutzpflanze im CROPWAT-Modell (entnommen aus [7])	16
Abbildung 6:	Zur WF-Berechnung in [2] zugrunde gelegte Klimazonen und Baumarten	19
Abbildung 7:	Jährliche tatsächliche Evapotranspiration weltweit (aus [10])	19
Abbildung 8:	Berechnung WF_{grey} : Berücksichtigung der Vorbelastung und Veranschaulichung von L_{crit}	23
Abbildung 9:	Exponentielle Erhöhung des WF_{grey} bei strenger werdenden c_{max} -Werten	27
Abbildung 10:	Abhängigkeit des WF_{grey} von den jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen im aufnehmenden Gewässer (Daten aus [15]) am Beispiel des Werkes „PM2“	31
Abbildung 11:	WF-Werte von PM1 ZDP (links) und PM2 ZDP (rechts) im Detail	31
Abbildung 12:	Wasserverbrauch bei Tetra Pak li.: Gesamtverbrauch; re.: aufgeteilt nach Prozessschritten	42
Abbildung 13:	Wasserkreislauf/-bilanz in den borealen Wäldern Finnlands (aus [20], überarbeitet)	47

12 Abkürzungsverzeichnis

(Kürzel in Gleichungen sind kursiv)

Kürzel	Dim.	Bedeutung
<i>Abstr</i>	m^3/d , $\text{m}^3/\text{t}_{\text{paper}}$...	entnommene (spezifische) Brauch-/Frischwassermenge
ACE		Alliance for Beverage Cartons and the Environment
CEPI		Confederation of European Paper Industries a.i.s.b.l.
<i>C_{act}</i>	mg/l, µg/l, ...	aktuelle Konzentration eines Stoffes/Wasserparameters im entnommenen Brauchwasser
<i>C_{effl}</i>	mg/l, µg/l, ...	Konzentration eines Stoffes/Wasserparameters im abgeleiteten Abwasser
<i>C_{max}</i>	mg/l, µg/l, ...	maximal zulässige Konzentration eines Stoffes/Wasserparameters in einem Gewässer
<i>C_{nat}</i>	mg/l, µg/l, ...	natürliche Hintergrundbelastung eines Stoffes/Wasserparameters in einem Gewässer
<i>CWU</i>	m^3/ha	crop water use
<i>Effl</i>	m^3/d , $\text{m}^3/\text{t}_{\text{paper}}$...	(spezifische) Abwassermenge
<i>ET_a</i>	$\text{m}_{\text{water}}^3/(\text{ha} * \text{year})$	mittlere, jährliche verdunstete Wassermenge einer Waldfläche
FAO		Food and Agriculture Organization of the United Nations
FEI		fresh water impact assessment
<i>f_{paper}</i>	$\text{m}_{\text{wood}}^3/\text{ton}_{\text{paper}}$	wood-to-paper conversion factor
<i>f_{recycling}</i>	%	Anteil des Faserstoffs am Papierprodukt, der aus rezyklierten Fasern bzw. aus Altpapier gewonnen wird
<i>f_{value}</i>	%	Wertanteil eines Produktes am Gesamtwert aller aus einem Rohstoff hergestellten Produkte
<i>f_{water}</i>	$\text{m}_{\text{water}}^3/\text{m}_{\text{wood}}^3$	Volumenteil des Wassers im frisch geschlagenen Holz
IAWR		Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet
IKSE(R)		Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (des Rheins)
ISO		International Organization for Standardization
LAWA		Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LPB		liquid packaging board
PNEC	mg/l, µg/l, ...	predicted no-effect concentration
RL		Richtlinie
SC		Subcommittee
S/RP		sponsoring/regular partner
T	°C	Temperatur
TC		Technical Committee

Fortsetzung Abkürzungsverzeichnis

UQN	mg/l, µg/l, ...	Umweltqualitätsnorm
WF		Water Footprint
WFC		wood-free coated
WFN		Water Footprint Network
WFU		wood-free uncoated
WWF		World Wide Fund For Nature
Y_{wood}	$m_{wood}^3 / (ha * year)$	durchschnittlicher jährlicher Holzertrag einer Waldfläche
ZS		Zellstoff

13 Literaturverzeichnis

- 1 Jung H., Kappen J., Hesse A. und B. Götz, Wasser- und Abwassersituation in der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie; Wochenblatt für Papierfabrikation 139, 737 – 739 (2011) Nr. 9
- 2 Van Oel P. R. and A. Y. Hoekstra, The green and blue water footprint of paper products: methodological considerations and quantification, Value of Water Research Report Series No. 46, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 2010, 32 p.
<http://www.waterfootprint.org/Reports/Report46-WaterFootprintPaper>
- 3 http://www.virtuelles-wasser.de/papier_leder.html
- 4 Coca-Cola Europe., Towards sustainable sugar sourcing in Europe - Water footprint sustainability assessment (WFSA) August 2011
<http://www.waterfootprint.org/Reports/CocaCola-2011-WaterFootprintSustainabilityAssessment.pdf>
- 5 Hoekstra, A.Y. and A.K. Chapagain, Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources, Blackwell Publishing, Oxford, UK., 2008, 208 p
- 6 Van Oel P. R. and A. Y Hoekstra, Towards Quantification of the Water Footprint of Paper: A First Estimate of its Consumptive Component, Water Resource Management, 17 p. published online: 16 November 2011
<http://www.waterfootprint.org/Reports/VanOel-Hoekstra-2012-WaterFootprintPaper.pdf>
- 7 Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M. M. and M. M. Mekonnen, The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan Ltd, London, UK, 2011, 203 p.
- 8 Aldaya M., WF of an agricultural product - CROPWAT model
IN: Schulungsunterlagen zum "Water Footprint Training Course", 16. – 18.02.2010, Amsterdam American Hotel, NL-Amsterdam
- 9 FAO, CROPWAT Model. Food and Agriculture Organization, Rome. Available from:
http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html
- 10 FAO, Global map of yearly actual evapotranspiration
<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=37233> (
- 11 FAO, Thermal climate zones of the world
http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/graphover.show?id=14056&fname=Map_4_01.png&access=public
- 12 N. N., Papier 2007 – Ein Leistungsbericht
Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e. V. (Hrsgb.), März 2007
- 13 N. N., Papier 2011 – Ein Leistungsbericht
Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e. V. (Hrsgb.), März 2011
- 14 Hanecker E., Altpapierstoff: Rohstoff Altpapier und seine Aufbereitung
IN: PTS-Einführungsseminar „Papierherstellung im Überblick“, 22. – 23.03.2011, München J. Strauß und E. Hanecker (Hrsgb.), PTS (2011) 300 S.
- 15 Kellner K., The Water Footprint of Paper Products, Diplomarbeit, 104 S., Universität für Bodenkultur Wien, Inst. f. Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz; März 2010, 104 S.
- 16 N.N., Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV), vom 20 Juli 2011, BGBl. Jg. 2011 Teil I Nr. 37, 1429 - 1469
- 17 Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG, Amtsblatt der Europäischen Union L 348/84 vom 24.12.2008

- 18 N.N., Donau -, Maas - und Rhein -MEMORANDUM 2008, IAWR (Hrsgb.), 20 S.
http://www.iawr.org/docs/publikation_sonstige/memo2008.pdf
- 19 Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aladaya, M. M. and Mekonnen, M. M. (2009): Water Footprint Manual – State of the Art 2009, Water Footprint Report 2009, Water Footprint Network (ed.)
<http://www.waterfootprint.org/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf>
- 20 N.N., From Forest to paper, the story of our water footprint; A case study for the UPM Nordland Papier mill, August 2011, UPM-Kymmene (ed.), 21 p.
[http://www.upm.com/EN/RESPONSIBILITY/Water/Water-footprint/Documents/UPM_WaterFootprint_Report_\(ENG\).pdf](http://www.upm.com/EN/RESPONSIBILITY/Water/Water-footprint/Documents/UPM_WaterFootprint_Report_(ENG).pdf)
http://www.upm.com/EN/RESPONSIBILITY/Water/Water-footprint/Documents/Summary_WaterFootprint.pdf
- 21 Bredemeier M., Der Beitrag von Wald und Forstwirtschaft zum Management des Wasserhaushalts, gwf – Wasser/Abwasser, 904 - 909 (2009) Nr. 11
- 22 <http://www.beveragecarton.eu/en/working-with-nature-2/measuring-our-water-footprint>
- 23 N. N., Case Study on the Water Footprint of Stora Enso's Skoghall Mill – Report to the Alliance for Beverage Cartons and the Environment (ACE) and WWF
<http://www.beveragecarton.eu/uploads/Library/Case%20Study%20on%20the%20Water%20Footprint.pdf>
- 24 Svending O., A Water Footprint pilot study at Stora Enso Skoghall Mill – results and recommendations, IN: PTS Environment Symposium, PTS Munich, 8th to 10th November 2011, H.-J. Öller, A. Hutter and S. Bierbaum (eds.), p. 04-1 – 04-13
- 25 StoraEnso, Environmental Statement 2009, Skoghall Mill
http://www.storaenso.com/about-us/mills/sweden/skoghall-mill/facts/broschyter/Documents/mil%C3%B6red_skoghallbruk09_eng_small.pdf
- 26 <http://www.scribd.com/doc/15617270/Stora-Enso-Sustainability-News-2-2009>
- 27 McDevitt J. E; Love S. R; Seadon J. K. and R. W. Allison, An Evaluation of Alternative Water Footprint Methodologies Using An Indicative Tissue Paper Supply Chain [online]. In: 65th Appita Annual Conference and Exhibition, Rotorua New Zealand 10-13 April 2011: Conference Technical Papers. Carlton, Vic.: Appita Inc., 2011: 287-294. Availability:
<http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=312582021251449;res=IELHSS>
ISBN: 9780957746995. [cited 24 Jan 12].
- 28 <http://www.forestindustries.fi/Infokortit/Waterfootprintpaperproductsconsistsmanyfactors/Pages/default.aspx>
- 29 Broschüre "Holmen and sustainability" (ohne Datumsangabe), verfügbar unter:
<http://www.holmen.com/Global/Holmen%20documents/Publications/Sustainability%20Reports/En-Sustainability%20report%202010.pdf?903865>
- 30 <http://www.mondigroup.com/desktopdefault.aspx/tabid-1340/>
- 31 NewPage Corporation - 2010 Sustainable Development Report
[http://www.newpagecorp.com/wps/wcm/connect/13768280459efe088688ff8a3330ffdb/2010+SDR+FIN AL.pdf?MOD=AJPERES](http://www.newpagecorp.com/wps/wcm/connect/13768280459efe088688ff8a3330ffdb/2010+SDR+FINAL.pdf?MOD=AJPERES)
- 32 Kimberly-Clark, Building on Our Vision for a Sustainable Future - 2010 SUSTAINABILITY REPORT
<http://www.sustainabilityreport2010.kimberly-clark.com/build-your-report/kc-full-report.pdf>
- 33 <http://www.tappi.org/content/enewsletters/ahead/2012/issues/2012-01-25.html>
- 34 Broschüre "Pöyry - Assess your mill's sustainability with the Green Mill Index™"
http://www.poyry.com/sites/default/files/imce/Poyry_GreenMillIndex_brochure_English.pdf
- 35 <http://www.scacontainerboard.com/Sustainability/Environmental-Responsibility/Improved-water-usage/>
- 36 <http://campaign.tetrapak.com/su2011/environment/naturalresources/waterfootprint/diving-in.html>

- 37 Wirtschaftsverbände Papierverarbeitung (WPV) e. V., Jahresbericht 2010, 11 S.
<http://www.wpv-ev.de/WPV-Jahresbericht%202010.pdf>
- 38 <http://www.kochmembrane.com/Water-Wastewater/Pulp-Paper/Water-Reuse.aspx>
- 39 Veolia-Broschüre "A New Tool for Ensuring Sustainability - The Water Impact Index and the First Carbon-Water Analysis of a Major Metropolitan Water Cycle"
http://www.veoliawaterst.com/vwst/ressources/files/1/2033,10975,Water_Impact_Index-White_Pape.pdf
- 40 <http://www.snv.ch/de/newsletter-alle-ausgaben/ausgabe-2011-09/bericht-von-der-18-sitzung-der-isotc-207-in-oslo/#c2128>
- 41 http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees%20iso_technical_committee.htm?commid=54854
- 42 CDP Water Disclosure – The Case for Water Disclosure, November 2009
https://www.cdproject.net/en-US/Programmes/Documents/CDP_Water_Disclosure_PDF.pdf
- 43 CDP Water Disclosure 2010 – Global Report
<https://www.cdproject.net/CDPResults/CDP-2010-Water-Disclosure-Global-Report.pdf>
- 44 <http://www.upm.com/EN/RESPONSIBILITY/Water/Water-footprint/Pages/default.aspx>
- 45 Presas T., Water - let's lead this issue; ipw, 3 (2011) Nr. 6
- 46 Mensink M., Environmental excellence will set the standard for the business of the future
IN: TOP PAPER – Paper is better, p. 26 – 32, 01/09, delfortgroup AG (ed.),
http://www.delfortgroup.com/uploads/pdf/toppaper_0109.pdf
- 47 Paper Profile – Environmental product declaration for paper
http://www.paperprofile.com/download/PP_Brochure_GER.pdf

