

ZEITAUFGELÖSTE SPEZIFISCHE TREIBHAUSGASE BEIM STROMBEDARF

Horst LUNZER¹, Petra Bußwald², Franz Niederl³, Josef Bärnthaler⁴, Anja Stenglein⁵, Günter Wind⁶

Kurzfassung: Betrachtet man die Treibhausgase, die dem Netzstrom zugrunde liegen, nicht als Jahres- sondern als Monatswerte sind elektrische Anwendungen im Winter anders zu beurteilen als im Sommer. Für das zukünftige Energiesystem mit volatilen Quellen ist dies sowohl für die Bewertung Energiespeicherung als auch für die Tarifbildung von grundlegender Bedeutung. Betrachten wir den Jahresverlauf der einzelnen Monate, so ist dieser Kennwert stark variierend. Der Maximalwert findet sich für das Jahr 2016 im Dezember mit 363 kg der Minimalwert im Mai mit 45 kg CO₂-Äquivalente je MWh. Mittels LCA wurden die zugrundeliegenden Kraftwerksparks simuliert. Die dynamische Treibhausgasberechnung wurde als Feature für das Energiesimulationstool RESYS entwickelt.

Keywords: monatliche Treibhausgaswerte, Stromimporte, Netzstrom, Netzverluste, CO₂-Äquivalente, Resys-tool

1 Inhalt

Aktuell werden viele Maßnahmen im Bereich erneuerbarer Energie und Energieeffizienz mittels Einsparung bzw. Amortisation von Treibhausgasen bewertet. Dabei werden etwa für den Strombedarf Jahresmittelwerte der Erzeugung und dadurch mittlere Emissionswerte je Energieeinheit (etwa kg CO₂-Äquivalent/kWh) angewandt. Durch den volatilen Verlauf der erneuerbaren Energieproduktion kann eine detailliertere zeitliche Auflösung jedoch genauere Aussagen bringen. Zusätzlich sollten auch der Einsatz von Energiespeicher in die Bewertung

¹ Resys-Konsortium/Dr. Lunzer Energie und Umwelt e.U., Pfaffendorf 15, 2052 Pernersdorf, Tel.: ++43 650 4449198, office@drlunzer.eu, <http://www.drlunzer.eu>

² akaryon GmbH, Grazer Straße 77, 8665 Langenwang, Tel +43-3854-25099, Fax +43-3854-25098, busswald@akaryon.com, www.akaryon.com

³ akaryon GmbH, Grazer Straße 77, 8665 Langenwang, Tel +43-3854-25099, Fax +43-3854-25098, niederl@akaryon.com, www.akaryon.com

⁴ Energieagentur Obersteiermark GmbH, Holzinnovationszentrum 1a, 8740 Zeltweg, Tel.: +43-3577-26664-23, Fax +43-3577-26664-4, josef.baernthaler@eao.st, www.eao.st

⁵ DI Anja Stenglein, Sigmundstadl 7, 8020 Graz, Tel: 0650-2821550, anja.stenglein@aon.at

⁶ Dr. Günter Wind Ingenieurbüro für Physik, Markstraße 3, 7000 Eisenstadt, Tel.: +43 680 2326415, g.wind@ibwind.at, www.ibwind.at

einfließen. Und es wäre letztlich auch bei Wärme sehr spannend, etwa bei solaren Großspeichern, welche die Wärme um Monate zeitversetzt nutzen lassen, und bei Blockheizkraftwerken die Abstimmung von Wärmeerzeugung und Bedarf mit zeitlich variablen Daten zu bewerten.

Mittels des Resys-Tools [8] bzw. der integrierten Simulationsmodelle⁷ wird der Energiebedarf und die Produktion bzw. Produktionspotentiale einer Region über die Zeit stundenaufgelöst simuliert. Damit lassen sich Kurzzeit- und Langzeitspeicher in ihrer Auswirkung bewerten. In der gegenständlichen wissenschaftlichen Arbeit wurden die Emissionen der spezifischen Treibhausgase des österreichischen Stromnetzes, wobei auch die Stromimporte berücksichtigt werden, monatlich bewertet. Die zeitlich aufgelösten Emissionswerte wurde als interpolierte Stundenwerte im Resys-Tool [8] hinterlegt, sodass die LCA-Analyse von kommunalen Energieszenarien auch zeitlich aufgelöst durchgeführt werden kann.

2 Methodik

Als Betrachtungsjahr wurde 2016 gewählt. Die Datengrundlage stammt aus den Informationen der e-control zu den Österreichischen und den ENTSO-E-Mix-Daten[2] [3] [4] [5]. Es wurden die Stromexporte von den Importen abgezogen, sodass nur bei einer negativen Gesamtbilanz auch die Treibhausgase der Importe schlagend werden. Mittels GEMIS [7] wurden per Life-cycle-assessment für die Kraftwerksparks von Österreich und die der Importländer Deutschland (49% des Importstromes), Tschechien (45% des Importstromes), Slowenien (3%), Ungarn (2%) und Schweiz (1%) die Treibhausgase nach den jeweiligen monatlichen Produktions-Mixes berechnet.

Tabelle 1: Verteilung der Stromproduktion 2015/2016 in Österreich.

	Wasserkraft	Wärmekraft	PV,Wind,Geo
Wasser-KW-gross-A-neu	54,10%		
Wasser-KW-klein-A	8,30%		
Ko-KW-DT-A-2001		7,80%	
Öl-schwer-KW-DT-AT-2000		1,30%	
Gas-KW-GuD-A-2006		11,90%	
Holz-KW-DT-A		1,36%	
Bio-BHKW-Kat-250-A		0,56%	
Müll-KW-DT-AT-2000		3,10%	
Bio-BHKW-Kat-015-A		0,44%	
Holzgas-KW-GuD-klein-A		1,79%	
Holz-HWK-DT-WSF-A		0,50%	
Holzgas-BHKW-Kat-015-A		0,34%	
Wind-KW-0100-A			1,04%
Wind-KW-0250-A			2,07%
Wind-KW-1000-A			4,29%
solar-PV-mono-Rahmen mit Rack-DE-2005			0,90%
Geothermie -KW-ORC-A			0,30%

⁷ www.resys-tool.at

Gesamt 62,40% 29,10% 8,60%

Dabei wurden für die einzelnen Anlagen die folgenden typischen Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten pro kWh angesetzt.

Tabelle 2: Spezifische Treibhausgase je Anlagentyp in Österreich

Anlagen	kg CO ₂ Eq/kWh
Wasser-KW-gross-A-neu	0,00435
Wasser-KW-klein-A	0,00068
Ko-KW-DT-A-2001	0,97115
Öl-schwer-KW-DT-AT-2000	0,78298
Gas-KW-GuD-A-2006	0,4845
Holz-KW-DT-A	0,0405
Bio-BHKW-Kat-250-A	0,05871
Müll-KW-DT-AT-2000	0,44691
Bio-BHKW-Kat-015-A	0,0218
Holzgas-KW-GuD-klein-A	0,0667
Holz-HWK-DT-WSF-A	0,29848
Holzgas-BHKW-Kat-015-A	0,11357
Wind-KW-0100-A	0,01111
Wind-KW-0250-A	0,00988
Wind-KW-1000-A	0,01309
solar-PV-mono-Rahmen mit Rack-DE-2005	0,13541
Geothermie -KW-ORC-A	0,00392

Tabelle 3: Stromimporte nach Österreich

Anlagen - Stromimport nach Österreich	Anteil in % am Import			
	Wasserkraft	RES	Fossil	Nuklear
Gemis-Datensätze				
Öl-schwer-KW-DT-H			0,294	
Gas-KW-DT-H			0,394	
Kohle-KW-DT-H			0,484	
U-KW-DWR-H				0,816
Wasser-KW-gross-H	0,012			
U-KW-DWR-SI-2000				2,316
Wasser-KW-klein-SI-2000	0,45			
Kohle-KW-DT-SI-2005			0,12	
Braunkohle-KW-DT-SI-2005			0,09	
Öl-leicht-KW-GT-SI-2000			0,006	
Gas-KW-GT-SI-2000			0,018	
Kohle-KW-DT-DE-2000			3,92	
Kohle-KW-DT-DE-2005			1,96	

Kohle-KW-DT-DE-Import-2000			3,43	
Kohle-KW-DT-DE-Import-2005			1,274	
Braunkohle-KW-DT-DE-2005-rheinisch			6,664	
Braunkohle-KW-DT-DE-2005-ostdeutsch			5,488	
Gas-KW-GT-DE-2005			1,666	
Gas-KW-GuD-DE-2005			3,92	
Gichtgas-KW-GT-DE-2005			1,078	
Öl-schwer-KW-DT-DE-2005			0,931	
Müll-KW-DT-DE-2005			0,49	
U-KW-DWR-DE-2000				12,887
Wasser-KW-gross-DE-2000	2,107			
Wind-KW-Park-gross-DE-2000		1,764		
Wind-KW-Park-mittel-DE-2000		0,392		
Solar-PV-mono-Rahmen-mit-Rack-DE-2005		0,098		
Holz-Altholz-A1-4-KW-DT-2005		0,441		
Deponiegas-BHKW-GM 1 MW-2005/brutto		0,147		
Biogas-Gülle-BHKW-GM 500-DE-2005/brutto		0,343		
lignite-ST-CZ-HU 4x200 2005			0,225	
coal-ST-CZ-CU 4x200			27,135	
Öl-schwer-KW-DT-CZ-2005			0,18	
Gas-KW-GuD-CZ-2005			2,16	
incinerating plant/turbine-CZ			0,405	
hydro power plant-CZ-small	1,305			
nuclear-ST-CZ-Temelin				13,59
Öl-schwer-KW-DT-CH-2000			0,003	
Gas-KW-GuD-CH-2000			0,015	
Müll-KW-DT-CH-2000			0,036	
U-KW-DWR-CH-2000				0,404
Wasser-KW-gross-CH-2000	0,542			
Gesamt	4,416	3,185	62,386	30,013

Wie ersichtlich sind die Stromimporte mit 62% fossilen Stromerzeugungsquellen und mit 30% Strom aus Kernkraft behaftet.

Tabelle 4: Spezifische Treibhausgase der Anlagen des Stromimportes in CO₂-Äquivalenten/kWh

Gemis-Datensätze	kg CO ₂ Eq/kWh
Öl-schwer-KW-DT-H	1,69077
Gas-KW-DT-H	0,79444
Kohle-KW-DT-H	1,51671
U-KW-DWR-H	0,06525
Wasser-KW-gross-H	0,01037
U-KW-DWR-SI-2000	0,06568
Wasser-KW-klein-SI-2000	0,00138
Kohle-KW-DT-SI-2005	1,08396
Braunkohle-KW-DT-SI-2005	1,09143

Öl-leicht-KW-GT-SI-2000	1,0607
Gas-KW-GT-SI-2000	0,83608
Kohle-KW-DT-DE-2000	1,0188
Kohle-KW-DT-DE-2005	0,94376
Kohle-KW-DT-DE-Import-2000	0,93137
Kohle-KW-DT-DE-Import-2005	1,09032
Braunkohle-KW-DT-DE-2005-rheinisch	1,12962
Braunkohle-KW-DT-DE-2005-ostdeutsch	1,1
Gas-KW-GT-DE-2005	0,7051
Gas-KW-GuD-DE-2005	0,42741
Gichtgas-KW-GT-DE-2005	1,12491
Öl-schwer-KW-DT-DE-2005	0,78902
Müll-KW-DT-DE-2005	1,23414
U-KW-DWR-DE-2000	0,03306
Wasser-KW-gross-DE-2000	0,03959
Wind-KW-Park-gross-DE-2000	0,0231
Wind-KW-Park-mittel-DE-2000	0,01888
Solar-PV-mono-Rahmen-mit-Rack-DE-2005	0,13541
Holz-Altholz-A1-4-KW-DT-2005	0,01814
Deponiegas-BHKW-GM 1 MW-2005/brutto	0,00294
Biogas-Gülle-BHKW-GM 500-DE-2005/brutto	0,10381
lignite-ST-CZ-HU 4x200 2005	1,16334
coal-ST-CZ-CU 4x200	1,23005
Öl-schwer-KW-DT-CZ-2005	0,75424
Gas-KW-GuD-CZ-2005	0,4332
incinerating plant/turbine-CZ	-0,02714
hydro power plant-CZ-small	0,00491
nuclear-ST-CZ-Temelín	0,07106
Öl-schwer-KW-DT-CH-2000	0,77643
Gas-KW-GuD-CH-2000	0,43088
Müll-KW-DT-CH-2000	0,36289
U-KW-DWR-CH-2000	0,03286
Wasser-KW-gross-CH-2000	0,01028

Dabei wurden auch Netzverluste unterschiedlicher Netzebenen berücksichtigt, wobei die Nutzung einen durchschnittlichen (etwa in der Mitte von Österreich) gelegenen Ort annimmt.

Tabelle 5: Annahmen und Berechnung der Verteilungsverluste im österreichischen Stromnetz

Netzebene kV	Verluste %/100 km	km in Österreich typ. Km	Verluste %	
400	0,76	6.728	300	2,28
220	1,59		200	3,18
110	3	80.287	20	0,6
22	14		9,25	1,295

0,4	600	171.892	0,8	4,8
Gesamt		258.907	12,155	

Die typischen Kilometer an Leitungstransport und damit Verlusten (siehe Tabelle 5) sind diskutierbar. Hier muss auch erwähnt werden, dass diese Transportkilometer und damit die Verluste sowohl für Stromimporte als auch für das innerösterreichische Netz gelten und selbst bei regionaler Nähe von Erzeuger und Verbraucher bei Netzebenen mit niedriger Spannung ins Gewicht fallen.

Für die Zukunft ist geplant, die Methodik, die für 2016 sehr gut den aktuellen Zustand widerspiegelt, zumindest alle 2 Jahre/besser jährlich mit einem jeweils aktuellen spezifischen Gang der Treibhausgase je Energieeinheit für das Resys-Tool zu aktualisieren. Änderungen resultieren einerseits aus der Veränderung des Kraftwerkparcs und andererseits aus der Lieferzusammensetzung der Importländer ab. Weiters ist die Stromproduktion gerade bei Wind und Wasserkraft je nach den klimatischen Bedingungen eines Jahres unterschiedlich. Gerade in Österreich kann durch die dominierende Erzeugung des Stromes aus Wasserkraft ein trockenes und ein feuchtes Jahr die Stromimporte sogar verdoppeln bzw. halbieren. Weiters soll ein durchschnittliches Referenzjahr herausgearbeitet werden, welches für die Prognose einsetzbar ist.

Betrachten wir nun die Verteilung des Kraftwerkparcs der Stromproduktion nach deren monatlicher Produktion bzw. Nutzung.

Tabelle 6: Deckung des Strombedarfs in Österreich durch eigene Kraftwerke und Stromnettoimporte

Monat	Wasserkraft	Wärmekraft	PV,Wind,Geo	Nettoimporte
Jän	50,0%	22,7%	9,1%	18,2%
Feb	39,4%	26,3%	9,1%	25,3%
Mär	43,7%	23,3%	8,7%	24,3%
Apr	65,2%	15,2%	10,9%	8,7%
Mai	85,3%	6,3%	8,4%	-4,2%
Jun	87,8%	5,6%	6,7%	0,0%
Jul	70,7%	8,7%	6,5%	14,1%
Aug	69,0%	9,2%	5,7%	16,1%
Sep	56,5%	14,1%	10,9%	18,5%
Okt	57,3%	24,0%	7,3%	11,5%
Nov	38,4%	29,3%	9,1%	23,2%
Dez	35,5%	26,2%	4,7%	33,6%

Da der Strombedarf üblicherweise höher als die Stromproduktion im Inland ist, werden diese durch die Stromimporte ausgeglichen. Wie ersichtlich sind im Juni keine Importe theoretisch nötig (Zugrunde liegt ja die Bilanz Stromimporte abzüglich Stromexporte). Im Mai sind die Stromnettoimporte sogar negativ, dies bedeutet es wird mehr Strom im Inland produziert als benötigt und daher 4,2% Nettoexporte ermöglicht. Wie aus der Tabelle 7 ersichtlich, ist dies durch das hohe Angebot an Wasserkraft ermöglicht.

Tabelle 7: Stromimporte nach Österreich

	Wasserkraft	RES	Fossil	Nuklear
Jän	15,73%	16,53%	43,30%	24,44%
Feb	17,68%	18,33%	39,78%	24,21%
Mär	18,15%	16,36%	40,70%	24,80%
Apr	19,81%	17,92%	38,55%	23,73%
Mai	20,82%	18,67%	37,90%	22,61%
Jun	20,29%	16,19%	40,88%	22,65%
Jul	18,41%	16,86%	41,49%	23,24%
Aug	16,98%	17,78%	42,29%	22,95%
Sep	15,16%	15,74%	46,79%	22,30%
Okt	14,02%	14,95%	49,41%	21,62%
Nov	14,28%	16,11%	48,58%	21,03%
Dez	14,31%	15,85%	47,68%	22,16%

Betrachten wir noch die monatliche Verteilung der Strom-Importe nach Österreich: September bis Dezember ist der aus fossiler Energie erzeugte Strom am höchsten. Strom aus Kernkraft ist von Jänner bis März am stärksten bei den Stromimporten präsent.

Damit ist der Importstrom hinsichtlich der Treibhausgase auch etwas unterschiedlich belastet. Wie in Tabelle 8 ersichtlich variieren die Werte von 423 kg CO₂-Äquivalent/MWh im Mai bis 542 kg CO₂-Äquivalent/MWh im Oktober.

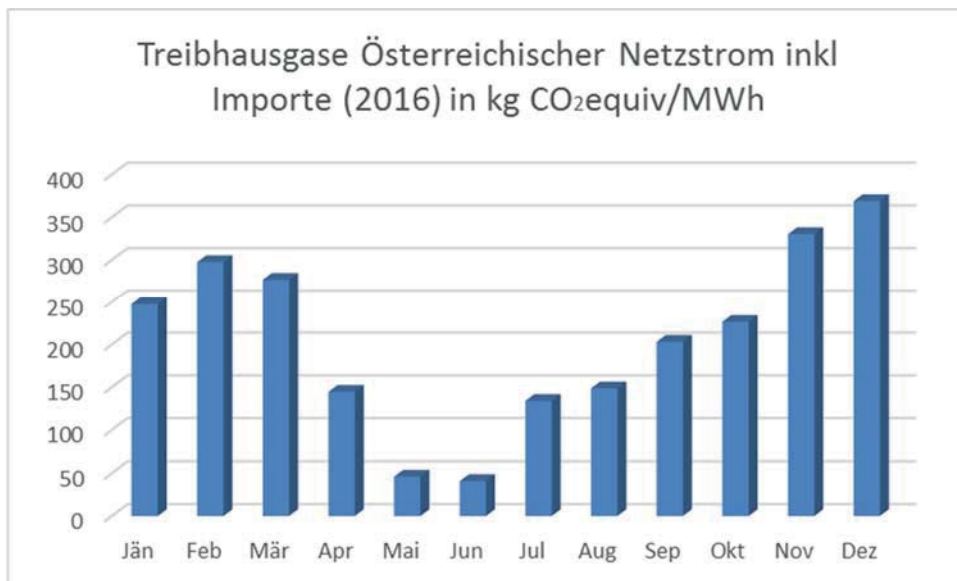
Tabelle 8: Spezifische Treibhausgase der Stromimporte nach Österreich nach Monaten

Monat	Gesamt GHG in kg CO ₂ Eq/kWh
Jän	0,480
Feb	0,443
Mär	0,453
Apr	0,430
Mai	0,423
Jun	0,454
Jul	0,460
Aug	0,469
Sep	0,515
Okt	0,542
Nov	0,533
Dez	0,524

3 Ergebnisse

Der Jahresgesamt- bzw. -mittelwert an Treibhausgasen für den Strombedarf beträgt nach Berechnungen des Umweltbundesamtes [7] in Österreich derzeit 213,8 kg CO₂-Äquivalente

je MWh. Betrachten wir den Jahresverlauf der einzelnen Monate, so ist dieser Kennwert stark variierend. Der Maximalwert findet sich für das Jahr 2016 im Dezember mit 363 kg der Minimalwert im Mai mit 45 kg CO₂Äquivalente je MWh.



Nach dem Verbrauch gewichtet ergeben die Monate für einen Jahreswert 180 kg CO₂Äquivalente/MWh. Ergänzen wir noch die Verluste, welche mit 12,15% obenstehend abgeschätzt wurden, erhalten wir einen durchschnittlichen Jahreswert von 209 kg CO₂Äquivalente/MWh, ein Wert der denjenigen des Umweltbundesamtes sehr nahe liegt.

Tabelle 9: Treibhausgase nach Monate und Produktion

Monat	Treibhausgase in kg CO ₂ Eq/kWh				Gesamt für Monat
	Wasserkraft	Wärme kraft	PV,Wind,Geo	Nettoimporte	
Jän	0,00193	0,12613	0,00223	0,08718	0,217
Feb	0,00152	0,14575	0,00223	0,11190	0,261
Mär	0,00169	0,12931	0,00215	0,10986	0,243
Apr	0,00252	0,08445	0,00267	0,03741	0,127
Mai	0,00329	0,03505	0,00207	0	0,040
Jun	0,00339	0,03083	0,00164	0	0,036
Jul	0,00273	0,04826	0,00160	0,06506	0,118
Aug	0,00266	0,05103	0,00141	0,07542	0,131
Sep	0,00218	0,07842	0,00267	0,09512	0,178
Okt	0,00221	0,13296	0,00179	0,06206	0,199
Nov	0,00148	0,16257	0,00223	0,12382	0,290
Dez	0,00137	0,14522	0,00115	0,17629	0,324

Tabelle 10: Treibhausgase nutzerseitiger Bedarf inklusive Transportverluste nach Monaten

Strombedarf in kg CO₂Eq/kWh

Monat	Verbrauch Anteilig über Jahr	inkl Netzverluste
Jän	9,5%	0,244
Feb	8,7%	0,293
Mär	9,0%	0,273
Apr	7,9%	0,142
Mai	7,7%	0,045
Jun	7,5%	0,040
Jul	7,8%	0,132
Aug	7,5%	0,146
Sep	7,8%	0,200
Okt	8,5%	0,223
Nov	8,8%	0,325
Dez	9,3%	0,363

Gerade bei Betrachtungen der längerfristigen Speicherung (z.b. Power To Gas) kann die Beurteilung nach monatlichen Netzvergleichswerten eine deutlich größere CO₂-Einsparung zeigen als über Jahresmittelwerte. Der Netzstrom hat zum Vergleich 9 mal mehr Treibhausgase im Dezember als etwa im Juni, das bedeutet, dass auch bei einem Gesamtwirkungsgrad für die Umwandlung von Strom zu Gas zu Strom von etwa 25% bis 30% noch noch eine positive Bilanz möglich ist, wenn Inlandsstrom bzw. Importstrom ersetzt werden kann. Wärmepumpen, die im Winter Netzstrom benötigen, schneiden schlechter ab als jene, die sich den Strom einem nahegelegenen Windpark oder einem wärmegeführten Biogas-BHKW holen.

Die geschaffenen methodischen Grundlagen und die ersten Ergebnisse können in Zukunft zur zeitaufgelösten Analyse zahlreicher weiterer Energiebereitstellungskonfigurationen - mit und ohne Speicherung – herangezogen werden.

Für das RESYS-tool [8] werden die spezifischen Treibhausgas-Monatswerte des Netzstromes noch über eine Verlaufsfunktion den Stundenwerten des Strombedarfs der Simulationen angepasst.

4 Literatur / Quellen

- [1] BMLFUW (2016), Erneuerbare Energie in Zahlen 2016, Wien, Dezember 2016, Download auf www.bmlfuw.gv.at/
- [2] E-Control Austria: Öffentliches Netz, Verbrauch elektrischer Energie in Österreich, 2016, Inlandsstromverbrauch. BStOeN-JR3_InlandMonVer.xlsx
- [3] E-Control Austria: Gesamte Versorgung, Erzeugung elektrischer Energie in Österreich, 2016, Bruttostromerzeugung. BStGes-JR4_Erzgg.xlsx
- [4] E-Control Austria: Gesamte Versorgung, Verwendung und Aufbringung elektrischer Energie in Österreich, 2016. BStGes-JR1_Bilanz.xlsx
- [5] ENTSO-E: Gesamtaufbringung nach ENTSO-E 2016; Stand der Datenerhebung 28.7.2017. ENTSO-E-Mix_2016_20170803.xlsx

- [6] DI Andreas Eigenbauer, Dr. Wolfgang Urbantschitsch: Stromkennzeichnungsbericht, Energie-Control Austria 2016, Rudolfsplatz 13a, A-1010 Wien, www.e-control.at
- [7] Gemis 4.9
- [8] www.resys-tool.at
- [9] Statisches_Netzmodell_150907.pdf