

Anhang 6: **Dezember 2003**

Zunahme der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in elektrischen Verteilnetzen

Simulationen im 16 kV Mittelspannungsnetz des AEW

ausgearbeitet durch

Prof. M. Höckel, P. Lüchinger
Berner Fachhochschule HTI Biel
Quellgasse 21
2501 Biel

mitfinanziert durch

Bundesamt für Berufsbildung und Technologie, KTI; KTI P-Nr: 5840.2;
ABB Schweiz AG; Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft PSEL;
AEK Energie AG; Elektrizitätswerk Davos AG; ewz Verteilnetz

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Weitere Informationen über das Programm „Elektrizität“ des Bundesamts für Energie stehen auf folgender Web-Seite zur Verfügung:

www.electricity-research.ch

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	1
Allgemein	1
Verschiedene Profile	1
Tagesverläufe	2
Kurzschlussimulationen	2
Regelung	3
Schlussfolgerung	3
 1. Einleitung	 4
1.1. Ziel der Studie	4
1.2. Simulationen mit einem Teilnetz der AEW	4
1.3. Simulationsprogramm	5
1.4. Eigenschaften des Mittelspannungsnetzes	5
1.5. Eigenschaften der DEA	6
1.6. Simulationsbedingungen	7
1.7. Haushaltslast	7
1.8. Industrielast	8
1.9. Netzgrafik	9
1.10. Zusammenfassung der Einleitung	10
 2. Profile	 11
2.1. Spannungsprofil bei Planungslast	11
2.2. Spannungsprofil bei Höchstlast	12
2.3. Spannungsprofil bei Schwachlast	13
2.4. Wirkleistungsprofil bei Planungslast	14
2.5. Wirkleistungsprofil bei Höchstlast	15
2.6. Wirkleistungsprofil bei Schwachlast	15
2.7. Blindleistungsprofil bei Planungslast	16
2.8. Blindleistungsprofil bei Höchstlast	16
2.9. Blindleistungsprofil bei Schwachlast	17
2.10. Leitungsauslastung bei Planungslast	17
2.11. Leitungsauslastung bei Höchstlast	18
2.12. Leitungsauslastung bei Schwachlast	18
2.13. Wirkleistungen der DEA	19
2.14. Blindleistungen der DEA	19
2.15. Zusammenfassung der verschiedenen Profile	20
 3. Netzbilanzen	 21
3.1. Netzbilanz Wirkleistung bei Planungslast	21
3.2. Netzbilanz Wirkleistung bei Höchstlast	22
3.3. Netzbilanz Wirkleistung bei Schwachlast	22

3.4.	Tabelle der Wirkleistungsbilanzen	23
3.5.	Netzbilanz Blindleistung bei Planungslast	24
3.6.	Netzbilanz Blindleistung bei Höchstlast.....	24
3.7.	Netzbilanz Blindleistung bei Schwachlast.....	25
3.8.	Tabelle der Blindleistungsbilanzen	25
3.9.	Zusammenfassung Netzbilanzen	26
4.	Tagesverläufe.....	27
4.1.	„Ohne DEA“ Tagesverläufe der Einspeisungen.....	27
4.2.	„Ohne DEA“ Tagesverlauf der Spannungen	28
4.3.	„Ohne DEA“ Tagesverlauf der Leitungsströme	29
4.4.	„Ohne DEA“ Tagesverlauf Leitungsauslastung	30
4.5.	„Alle DEA“ Tagesverläufe der KVA SM1	31
4.6.	„Alle DEA“ Tagesverläufe der KVA SM2	32
4.7.	„Alle DEA“ Tagesverläufe der Einspeisung	33
4.8.	„Alle DEA“ Tagesverlauf der Spannungen.....	34
4.9.	„Alle DEA“ Tagesverlauf der Leitungsauslastung.....	35
4.10.	„Alle DEA“ Tagesverlauf der Leitungsströme.....	36
4.11.	Zusammenfassung Tagesverläufe	36
5.	Kurzschlusswerte	37
5.1.	Kurzschlussleistungen	37
5.2.	Kurzschlussströme	38
5.3.	Kurzschlussspitzenströme.....	38
5.4.	Zusammenfassung Kurzschlussimulationen.....	39
6.	Netzdynamik	40
6.1.	Last ein / aus im Verbundnetz	40
6.2.	Simulationen im Inselnetz	41
6.3.	Zusammenfassung dynamische Simulationen	43

ZUSAMMENFASSUNG

ALLGEMEIN

Um die Auswirkungen von DEA im MS-Netz untersuchen zu können, wurden entsprechende rechnerische Simulationen mit einem Teilnetz der AEW durchgeführt. Als Grundlage für die Simulationen dient ein MS-Netz des AEW. In dieses Netz sind bereits grosse dezentrale Anlagen integriert, was wichtig ist, um eine allgemeine Aussage über die Auswirkungen von DEA im Mittelspannungsnetz zu machen.

In dieses MS-Netz des AEW wird ausschliesslich über Synchronmaschinen eingespiesen. Für die Simulation werden zwei Varianten unterschieden: „ohne DEA“ heisst, dass alle dezentralen Erzeugungsanlagen ausgeschaltet sind, „alle DEA“ bedeutet, dass alle im Netz vorhandenen DEA, nebst dem Dieselgenerator, eingeschaltet sind. Die Simulation wurde nur im Mittelspannungsnetz durchgeführt, die Hochspannungsebene wird mit zwei externen Netzen simuliert, welche das Verbundnetz darstellen.

Die Lastflussberechnungen wurden mit Planungslast (100%), Höchstlast (90%) und Schwachlast (30%) durchgeführt. Dabei sind die Spannungen an den Sammelschienen, die Wirk- und Blindleistungen sowie die Auslastung in den Leitungen mit und ohne DEA verglichen worden.

Da die Generatoren der KVA starken Tagesschwankungen unterliegen, ist für die Tagesverlaufsimulationen ein typischer Tagesverlauf aufgenommen worden. Bei den Laufwasserkraftwerken kann man von einer konstanten Leistung ausgehen. Zusammen mit den Tagesverläufen der Industrie- und Haushaltslasten kann so der Verlauf der Spannungen, Ströme und Leistungen eines Tages betrachtet werden.

Weiter werden mit der Kurzschlussimulation die Auswirkungen von grösseren DEA aufs Netz untersucht.

Durch die grosse verfügbare Einspeiseleistung der bereits vorhandenen DEA kann ein Teilnetz in der Insel betrieben werden. Dazu wurden in den Simulationen zwei Generatoren einer KVA mit einem Regler ausgestattet und die Frequenzstabilität beim Schalten von grossen Lasten und bei der Inselnetzbildung untersucht.

Das Mittelspannungsnetz weist ein Impedanzverhältnis R/X von etwa 1:2 auf. Damit ist für den Spannungsabfall die übers Netz transportierte Blindleistung des Verbrauchs oder der Einspeisung der bestimmende Faktor und nicht wie im Niederspannungsnetz der Wirkleistungsanteil.

VERSCHIEDENE PROFILE

Das betrachtete Mittelspannungsnetz kann in zwei eigenständige Netze aufgeteilt werden, die von unterschiedlichen Unterwerken versorgt werden. Dadurch entstehen im ganzen Netz grosse Spannungsunterschiede. Sind alle DEA eingeschaltet, werden die Spannungen teilweise um bis zu 1 kV angehoben, wobei bei einer Nennspannung von 16 kV eine Spannungsschwankung von 10 % bzw. 1.6 kV tolerierbar ist.

Die meisten Leitungen weisen mit allen DEA eine tiefere Wirkleistung auf als ohne, was auf die bessere Energieverteilung zurück zu führen ist. Ausnahmen bilden hier die Leitungen nahe von grossen DEA wie zum Beispiel die der KVA. Bei schwacher Last steigt die Belastung von einigen Leitungen in der Nähe der grossen DEA an, weil die Leistung nicht vor Ort verbraucht wird und über grosse Distanzen transportiert wird.

Die Blindleistungen in den Leitungen sind ohne DEA höher als mit. Wie schon bei der Wirkleistung gibt es jedoch bei der Schwachlastsimulation mehrere Leitungen, die mit DEA höher belastet werden als ohne.

Im betrachteten MS-Netz sind zwei Dampfturbinen, ein Dieselgenerator und 4 Laufwasserkraftwerke im Einsatz, wobei der Dieselgenerator als Notstromaggregat gebraucht wird. Die Netzverluste nehmen mit DEA bei Planungs- und Höchstlast ab, was durch die bessere Einspeiseverteilung zu begründen ist. Durch die DEA wird bei Schwachlast genügend Wirkleistung zur Verfügung gestellt, so dass sogar ins übergeordnete Netz zurückgespiessen werden kann. Durch diese Rückspeisung wird im gesamten Netz mehr Leistung umgesetzt, was die höheren Netzverluste begründet.

Auch bei der Blindleistung gehen die Netzverluste zurück, wenn mit DEA gearbeitet wird. Sie verringern sich dabei um ein Vielfaches. Wegen dem vorherrschenden R/X-Verhältnis von 1:2 werden verhältnismässig mehr Blindleistungs- als Wirkleistungsverluste eingespart. Die Netzverluste bleiben auch bei Schwachlast ohne DEA grösser als mit. Damit kann die Aussage gemacht werden, dass mit DEA im Mittelspannungsnetz bei allen Lastzuständen vor allem Blindleistungsverluste eingespart werden können.

TAGESVERLÄUFE

Im Mittelspannungsnetz der AEW gibt es zwei unterschiedliche Lasttypen. Zum einen sind dies die normalen Haushaltslasten mit dem Nachttal und den Spitzen am Mittag und am Abend. Die Industrielast weist zwei Spitzen während des Tages auf und geht in der Nacht gegen Null. Wenn keine DEA eingesetzt werden, resultieren die Tagesverläufe der Einspeisungen ab den externen Netze aus der Kombination der zwei Lasttypen. Bei grosser Last sinkt die Spannung und bei kleiner steigt sie an.

Da der grösste Teil der Lasten einer Haushaltslast entspricht, folgen die Ströme einem typischen Tagesverlauf, wie er auch in einem Niederspannungsnetz auftritt. Mit dem Einsatz der DEA nehmen die Tagesverläufe an verschiedenen Knoten recht unterschiedliche Formen an. Während Laufwasserkraftwerke praktisch immer mit konstanter Leistung ins Netz einspeisen, gibt es bei der KVA grössere Schwankungen bedingt durch die Primärenergie und dem Eigenverbrauch der KVA. Die Spannung der zwei Dampfturbinen der KVA variiert während des Tages um etwa 2%. Die meisten Leitungen liegen weit unter ihrer Belastungsgrenze. Einzig bei der Einspeisung der KVA übersteigt die Leitungsbelastung die 50 % Marke.

KURZSCHLUSSSIMULATIONEN

Es wurden vor allem Leitungen an denen DEA angeschlossen sind genauer untersucht. Naturgemäss steigen die Kurzschlussleistungen durch den Einsatz von DEA bzw. Synchronmaschinen an. Je grösser eine Maschine ist, desto grösser wird auch der Anstieg der Kurzschlussleistung. Die Kurzschlussströme sind proportional zur Kurzschlussleistung und vergrössern sich auch beim Einsatz von DEA.

REGELUNG

Im Mittelspannungsnetz des AEW sind bereits heute eine grosse Anzahl von dezentralen Einspeisungen vorhanden, deren Summenleistung einen Inselbetrieb von Teilnetzen erlauben würden. Unter der Voraussetzung, dass die entsprechende Regelgeräte vorhanden sind, kann eine ausreichende Spannungs- und Frequenzstabilität erzielt werden. Falls eine grössere Anlage mit einer sekundären Frequenzregulierung ausgestattet ist, lässt sich die Frequenz nach Eintritt von Störungen, wie beispielsweise Lastzuschaltungen und Lasttrennungen innerhalb von 1 bis 2 Minuten wieder auf den Sollwert zurückführen.

SCHLUSSFOLGERUNG

Durch den Einsatz von dezentralen Anlagen kann die Spannungsstabilität, vor allem an Knoten die weit weg von den Einspeisungen sind, verbessert werden. Die Leitungsbelastung bleibt auch mit DEA unterhalb der Grenzwerte und ist meist geringer als ohne DEA, weil die Einspeisungen besser verteilt sind. Durch die bessere Verteilung der Einspeisung können die Netzverluste minimiert werden. Kommt es bei den Wirkleistungsverlusten auf die Höhe der Belastung an, können die Blindleistungsverluste in jedem Belastungsfall verkleinert werden.

Die Kurzschlussleistungen nehmen mit DEA zu. Da im Mittelspannungsnetz die meisten DEA über Synchronmaschinen angeschlossen werden, darf dies vor allem bei grösseren Maschinen nicht vernachlässigt werden, weil sie die Kurzschlussleistung an den Anschlusspunkten massiv erhöhen.

Durch dynamische Simulationen mit den geregelten Synchronmaschinen der KVA kann gezeigt werden, dass der Inselbetrieb eines Teiles des AEW MS-Netzes möglich wäre, falls die regelungstechnischen Voraussetzungen geschaffen werden.

1. EINLEITUNG

Im Mittelspannungsnetz sind bis anhin schon einige dezentrale Erzeugungsanlagen (DEA) vorzufinden. Dazu zählen Flusskraftwerke, Kehrriichtverbrennungsanlagen, grössere Photovoltaikanlagen und Windkraftwerke. In naher Zukunft werden vermehrt dezentrale Einspeisungen in den Einsatz kommen. Als aktuelles Beispiel kann man hier die Brennstoffzellen und die Windkraftanlagen nennen. Bei wenigen DEA ist der Einfluss auf das Mittelspannungsnetz noch sehr gering und kann praktisch vernachlässigt werden. Bei vielen DEA vor allem mit grösserer Leistung darf man die Einflüsse nicht mehr ausser Acht lassen. Neben höheren Leistungsbelastungen und Kurzschlussleistungen kann der Einsatz von dezentralen Anlagen auch positive Auswirkungen auf die Spannungsstabilität mit sich bringen. Ein weiterer Vorteil liegt in den kleineren Verlustleistungen in den Leitungen durch die kleineren Distanzen über die die Energie übertragen werden muss. Denkbar wären auch Leistungsregelungen der Verteilnetzbetreiber, die je nach Bedarf einzelne DEA ein- oder ausschalten könnten, um Leistungsdefizite oder -überschüsse besser regulieren zu können.

1.1. ZIEL DER STUDIE

Wesentlich ist die Beurteilung der Auswirkungen von vermehrter dezentraler Erzeugung in der Mittelspannungsebene. Das Ziel des Forschungsprojektes ist es, Lösungsansätze zu den technischen Problemstellungen zu finden und die ökonomischen Auswirkungen für die Verteilnetzbetreiber abschätzen zu können.

1.2. SIMULATIONEN MIT EINEM TEILNETZ DER AEW

Um die Auswirkungen der Zunahme der DEA im MS-Netz untersuchen zu können, wurden entsprechende rechnerische Simulationen mit einem Teilnetz der AEW durchgeführt. Als Grundlage für die Simulationen dient ein MS-Netz des AEW. In dieses Netz sind bereits grosse dezentrale Anlagen integriert, was wichtig ist, um eine allgemeine Aussage über die Auswirkungen von DEA im Mittelspannungsnetz zu machen.

Bei den Simulationen wird wie folgt vorgegangen:

- An den Klemmen werden die Spannungen mit und ohne DEA miteinander verglichen.
- Von den Leitungen wird ein Wirk- und Blindleistungsprofil aufgenommen und die Leistungsbelastungen überprüft.
- Die Leistung der KVA wurde für einen Tagesverlauf nachgebildet. Zusammen mit den Haushalts- und Industrielasten ergeben sich daraus die resultierenden Spannungen, Ströme und Leistungen, die während eines Tages beobachtet werden können.
- Kurzschlussimulationen
- Die Auswirkungen auf die Frequenzstabilität beim Schalten von grossen Lasten werden genauer untersucht.
- Inselnetzbildung / Regelung

Die Resultate dieser Simulationen werden in diesem Bericht aufgezeigt.

1.3. SIMULATIONSPROGRAMM

Für die Netzsimulationen wurde das Programm Digsilent verwendet. Es integriert sämtliche Funktionalitäten, welche für die umfassende Bewertung von Netzen notwendig sind: Lastflussberechnungen, Kurzschlussstromberechnungen, Momentanwertanalyse, Effektivwertanalyse und Oberschwingungsanalyse.

1.4. EIGENSCHAFTEN DES MITTELSPANNUNGSNETZES

Da das Impedanzverhältnis R/X im Mittelspannungsnetz etwa 1:2 beträgt, ist für den Spannungsabfall die Blindleistung des Verbrauchs oder der Einspeisung der bestimmende Faktor und nicht wie im Niederspannungsnetz der Wirkleistungsanteil.

Beispiel:

In folgendem Netz wurde für den ersten Berechnungsfall die Last auf 0.5 MW eingestellt. Dabei sinkt die Spannung an der Station 3/S1 auf 15.95 kV.

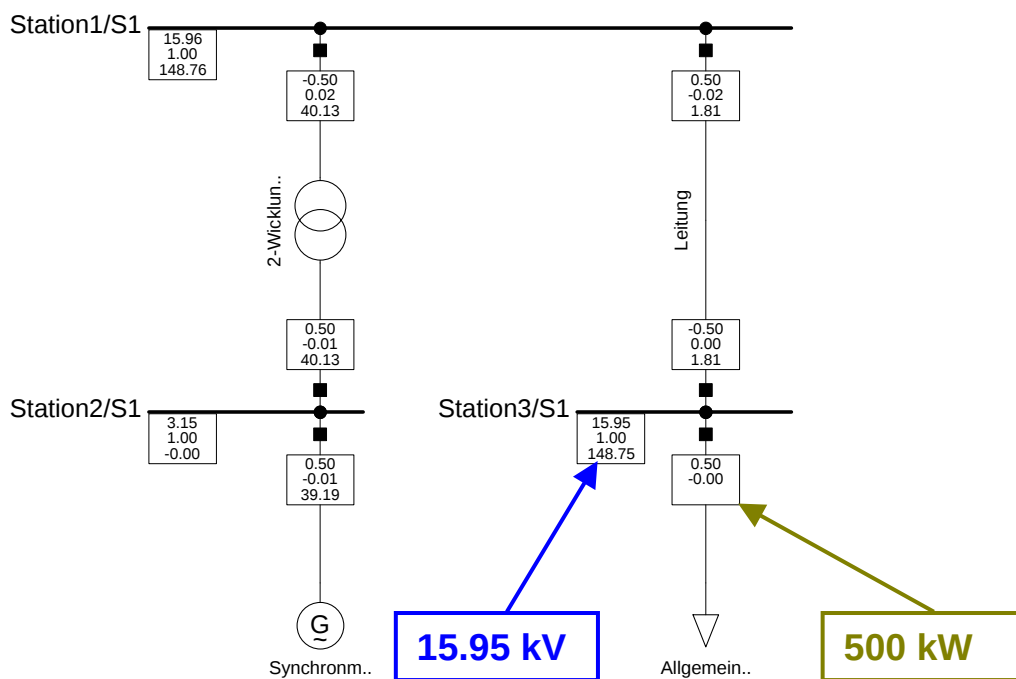


Abbildung 1: Ausgangslage – Ausschiesslicher Bezug von Wirkleistungen

Wird die Wirkleistung der Last wieder auf Null und die Blindleistung auf 500 kVar eingestellt, findet man an der Station 3/S1 eine Spannung von 15.66 V vor. Damit ist klar, dass im Mittelspannungsnetz die Blindleistung einen grösseren Einfluss auf die Spannung hat.

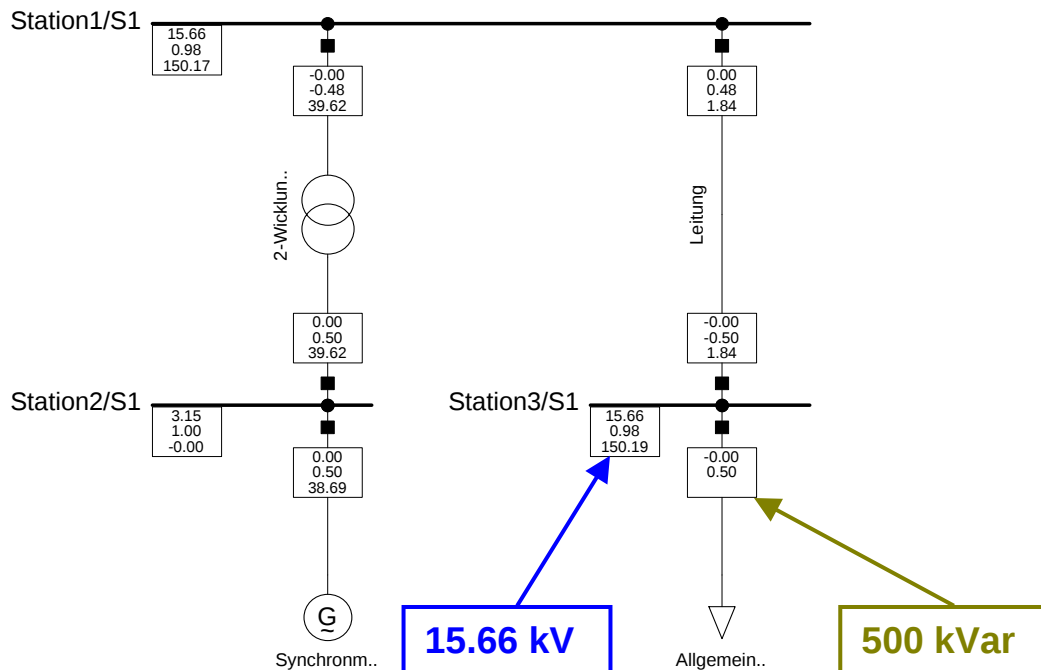


Abbildung 2: Ausschliesslicher Bezug von Blindleistung

1.5. EIGENSCHAFTEN DER DEA

Das MS-Netz der AEW wurde im Originalzustand belassen, weil schon viele DEA in Betrieb sind. Im Mittelspannungsnetz werden praktisch alle dezentralen Anlagen über Synchronmaschinen mit dem Netz verbunden. Ausnahmen bilden hier die Windkraftanlagen oder Brennstoffzellen, welche über Umrichter angeschlossen werden. Im vorhandenen Netz wird ausschliesslich über Synchronmaschinen eingespiesen.

Bei der folgenden Aufzählung werden die Eigenschaften der verschiedenen Varianten aufgeführt:

- „Ohne DEA“
Hierbei handelt es sich um einen Zustand, der in der Praxis kaum auftreten wird. Es sind alle dezentralen Erzeugungsanlagen ausgeschaltet.
- „Alle DEA“
Hierbei handelt es sich um den Normalzustand des Netzes. Nebst dem Dieselgenerator der KVA sind alle DEA eingeschaltet und liefern je nach Bedarf mehr oder weniger Energie ins MS-Netz.

1.6. SIMULATIONSBEDINGUNGEN

Die Simulation wurde nur im Mittelspannungsnetz durchgeführt, die Hochspannungsebene wird mit zwei externen Netzen simuliert, welche das Verbundnetz darstellen. Die 4 Laufwasserkraftwerke weisen über den Tag eine beinahe konstante Einspeisung auf, während die Dampfturbinen der KVA einem bestimmten Verlauf folgen, der in der Simulation soweit angepasst wurde, dass die Leistung mit den Daten des AEW übereinstimmen. Dabei handelt es sich um Abschätzungen, weil für die Abgleichung nur Grafiken zur Verfügung stehen.

Die Lastflussberechnungen wurden mit Planungslast, Höchstlast und Schwachlast durchgeführt:

- Die Planungslast entspricht 100 % der maximalen Last.
- Die Höchstlast entspricht 90 % der maximalen Last.
- Die Schwachlast entspricht 30 % der maximalen Last.

1.7. HAUSHALTSLAST

Im AEW-Netz werden zwei Lasttypen unterschieden: Zum einen sind dies die Haushaltslasten und zum anderen die Industrielasten.

Die verwendete Lastkurve für Haushaltslast entspricht einem typischen Verlauf mit dem Nachttal und der Mittags- und Abendspitze, wie sie auch im Niederspannungsnetz auftritt.

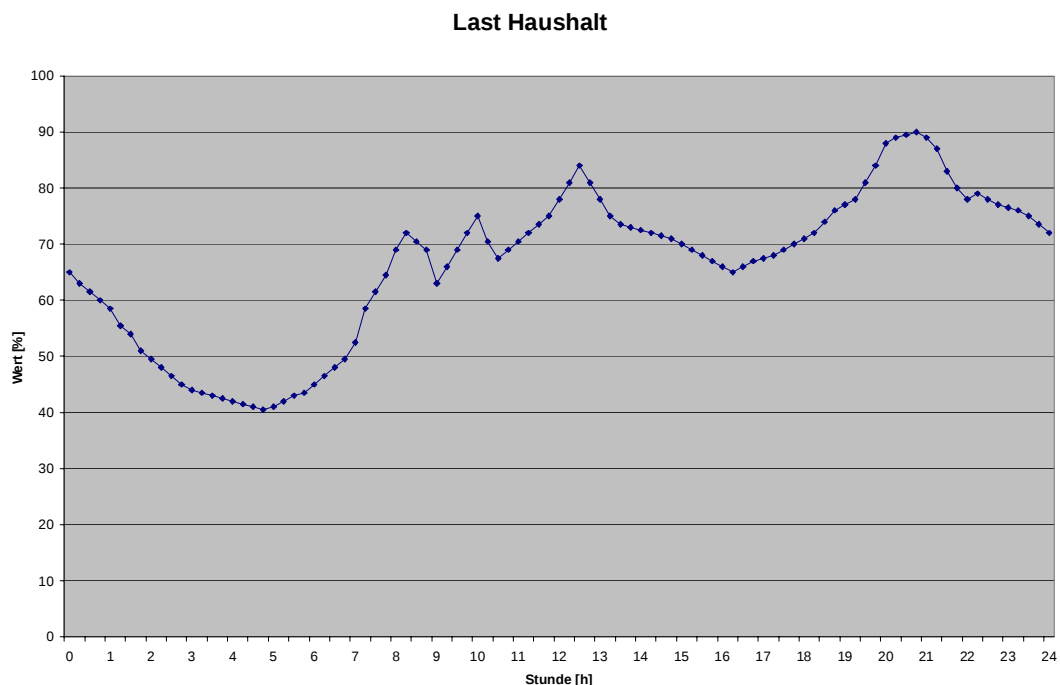


Abbildung 3: Tagesverlauf der Haushaltslast

1.8. INDUSTRIELAST

Die Industrielast umfasst eine Vormittags- und eine Nachmittagsspitze und variiert zwischen 40% und 100%. Um die Mittagszeit sinkt der Verbrauch von knapp 100% auf etwas über 80%.

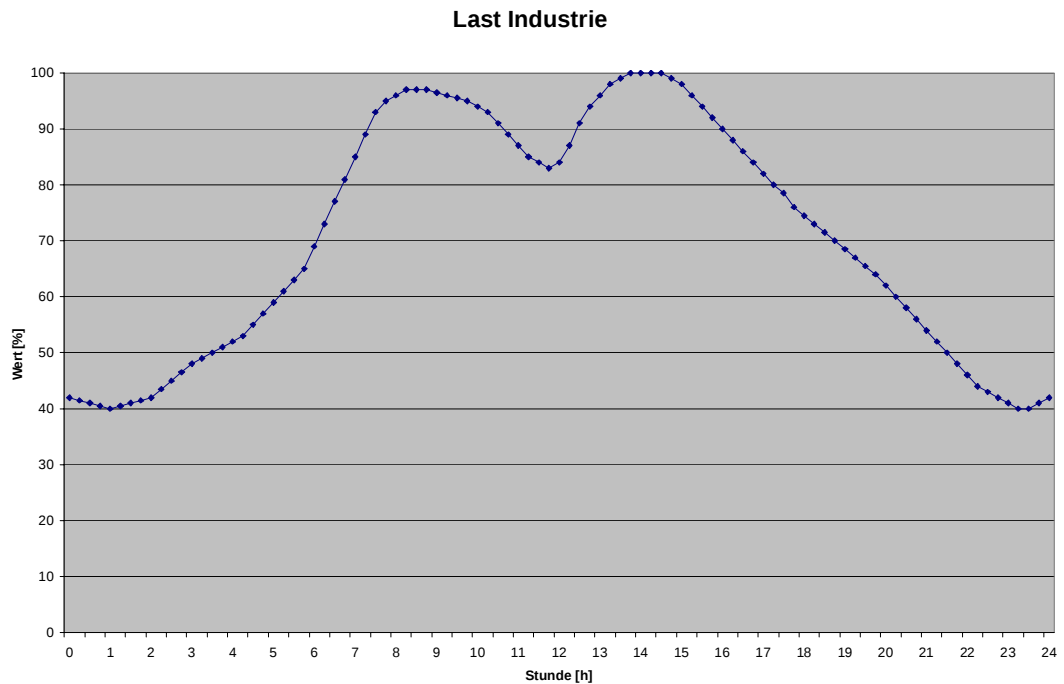


Abbildung 4: Tagesverlauf der Industrielast

1.9. NETZGRAFIK

Wie aus Abbildung 5 zu entnehmen ist, wird das betrachtete Mittelspannungsnetz der AEW von zwei Unterwerken versorgt.

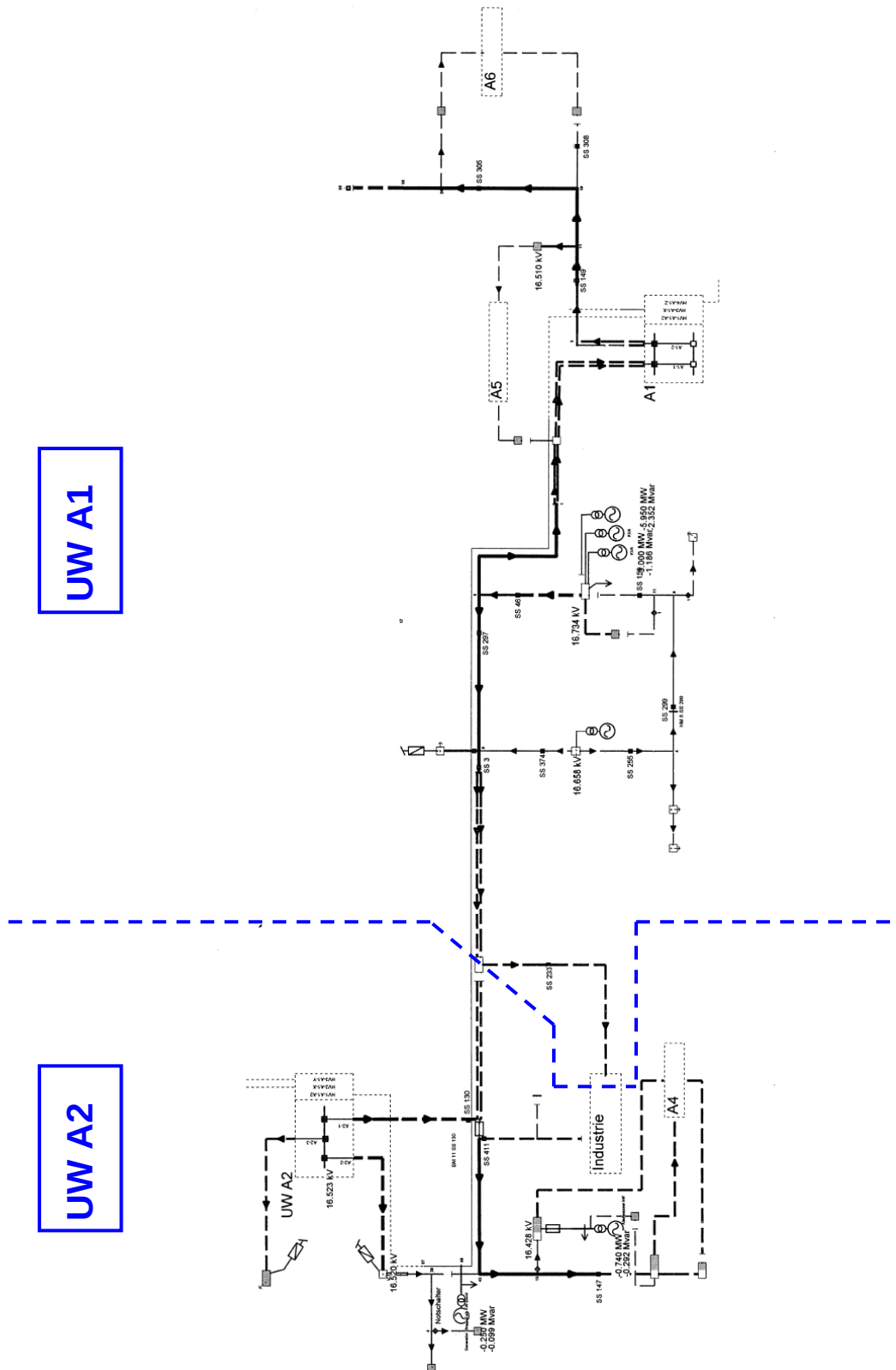


Abbildung 5: Betrachtetes AEW MS-Netz

1.10. ZUSAMMENFASSUNG DER EINLEITUNG

Um die Auswirkungen von DEA im MS-Netz untersuchen zu können, wurden entsprechende rechnerische Simulationen mit einem Teilnetz der AEW durchgeführt. Als Grundlage für die Simulationen dient ein MS-Netz des AEW. In dieses Netz sind bereits grosse dezentrale Anlagen integriert, was wichtig ist, um eine allgemeine Aussage über die Auswirkungen von DEA im Mittelspannungsnetz zu machen.

In diesem Netz wird ausschliesslich über Synchronmaschinen eingespiesen. Für die Simulation werden zwei Varianten unterschieden: „ohne DEA“ heisst, dass alle dezentralen Erzeugungsanlagen ausgeschaltet sind, „alle DEA“ bedeutet, dass alle im Netz vorhandenen DEA, nebst dem Dieselgenerator, eingeschaltet sind. Die Simulation wurde nur im Mittelspannungsnetz durchgeführt, die Hochspannungsebene wird mit zwei externen Netzen simuliert, welche das Verbundnetz darstellen.

Die Lastflussberechnungen wurden mit Planungslast (100%), Höchstlast (90%) und Schwachlast (30%) durchgeführt. Dabei sind die Spannungen an den Sammelschienen, die Wirk- und Blindleistungen sowie die Auslastung in den Leitungen mit und ohne DEA verglichen worden.

Da die Generatoren der KVA starken Tagesschwankungen unterliegen, ist für die Tagesverlaufsimulationen ein typischer Tagesverlauf aufgenommen worden. Bei den Laufwasserkraftwerken kann man von einer konstanten Leistung ausgehen. Zusammen mit den Tagesverläufen der Industrie- und Haushaltslasten kann so der Verlauf der Spannungen, Ströme und Leistungen eines Tages betrachtet werden.

Weiter werden mit der Kurzschlussimulation die Auswirkungen von grösseren DEA aufs Netz untersucht.

Durch die grosse verfügbare Einspeiseleistung der bereits vorhandenen DEA kann ein Teilnetz in der Insel betrieben werden. Dazu wurden in den Simulationen zwei Generatoren einer KVA mit einem Regler ausgestattet und die Frequenzstabilität beim Schalten von grossen Lasten und bei der Inselnetzbildung untersucht.

Das Mittelspannungsnetz weist ein Impedanzverhältnis R/X von etwa 1:2 auf. Damit ist für den Spannungsabfall die übers Netz transportierte Blindleistung des Verbrauchs oder der Einspeisung der bestimmende Faktor und nicht wie im Niederspannungsnetz der Wirkleistungsanteil.

2. PROFILE

2.1. SPANNUNGSPROFIL BEI PLANUNGSLAST

Das angeschaute Mittelspannungsnetz kann in zwei eigenständige Netze aufgeteilt werden, die von unterschiedlichen Unterwerken versorgt werden. Die ersten 6 Spannungen werden vom Unterwerk A2, die restlichen vom Unterwerk A1 versorgt. Daher stammen die grossen Spannungsunterschiede. Werden alle DEA eingeschaltet, werden die Spannungen teilweise um bis zu 1 kV angehoben. Bei einer Nennspannung von 16 kV ist eine Spannungsschwankung von 10 % bzw. 1.6 kV tolerierbar.

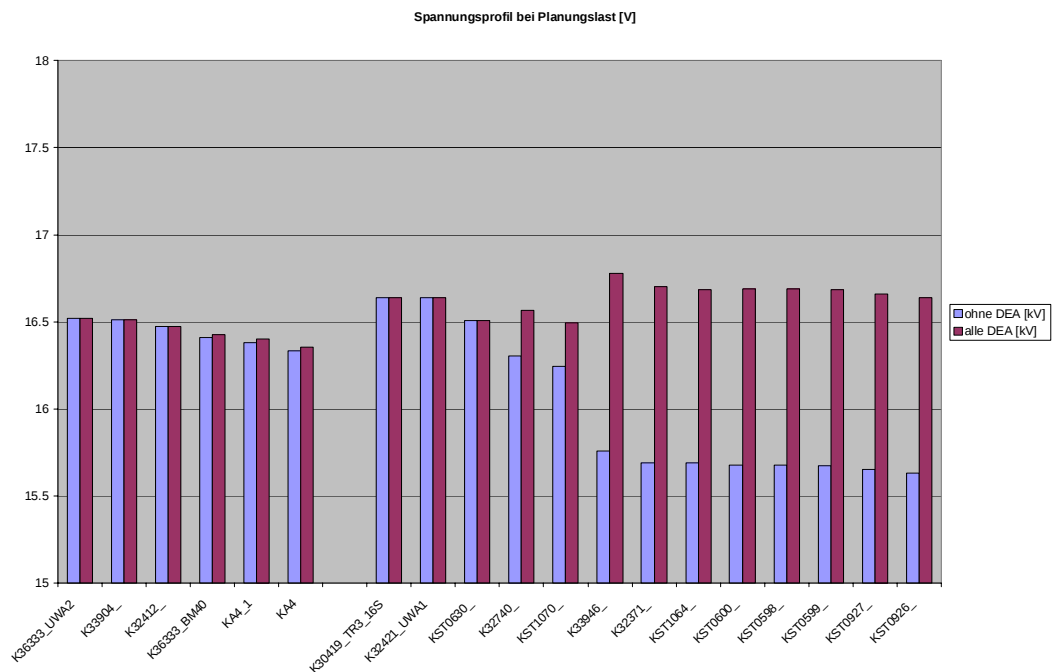


Abbildung 6: Spannungsprofil bei Planungslast

2.2. SPANNUNGSPROFIL BEI HÖCHSTLAST

Durch die geringere Last im Netz wird das Spannungsniveau leicht angehoben. Die Erhöhung der Spannung durch die DEA bleibt in etwa gleich.

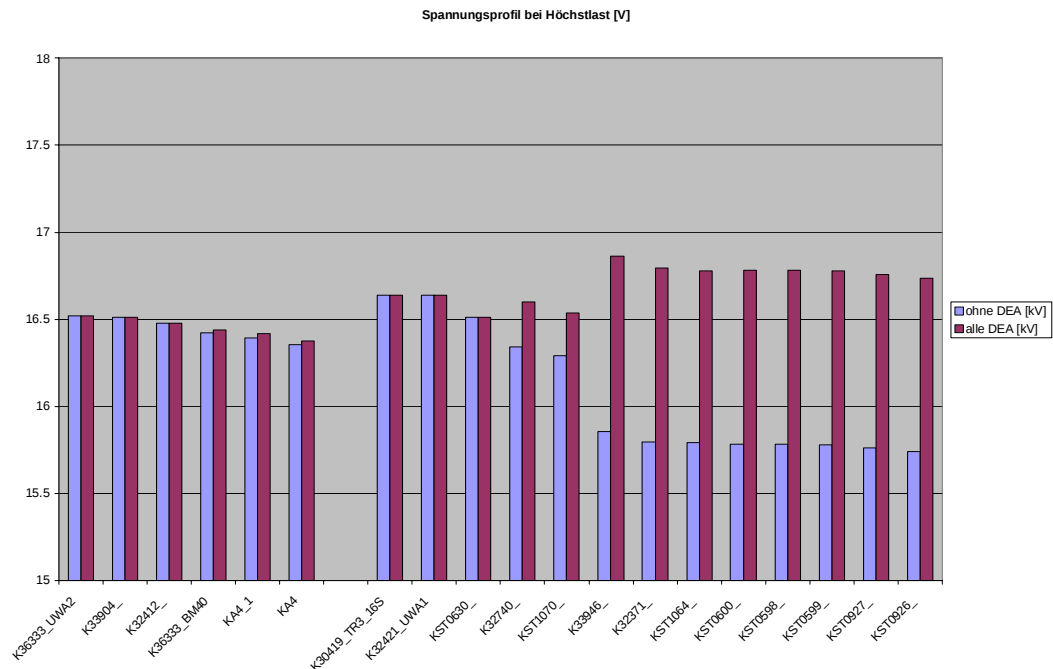


Abbildung 7: Spannungsprofil bei Höchstlast

2.3. SPANNUNGSPROFIL BEI SCHWACHLAST

Durch die geringere Last bewegen sich „ohne DEA“ alle Spannungen um 16.5 kV. Schaltet man die DEA dazu, werden maximale Spannungen von ca. 17.4 kV erreicht.

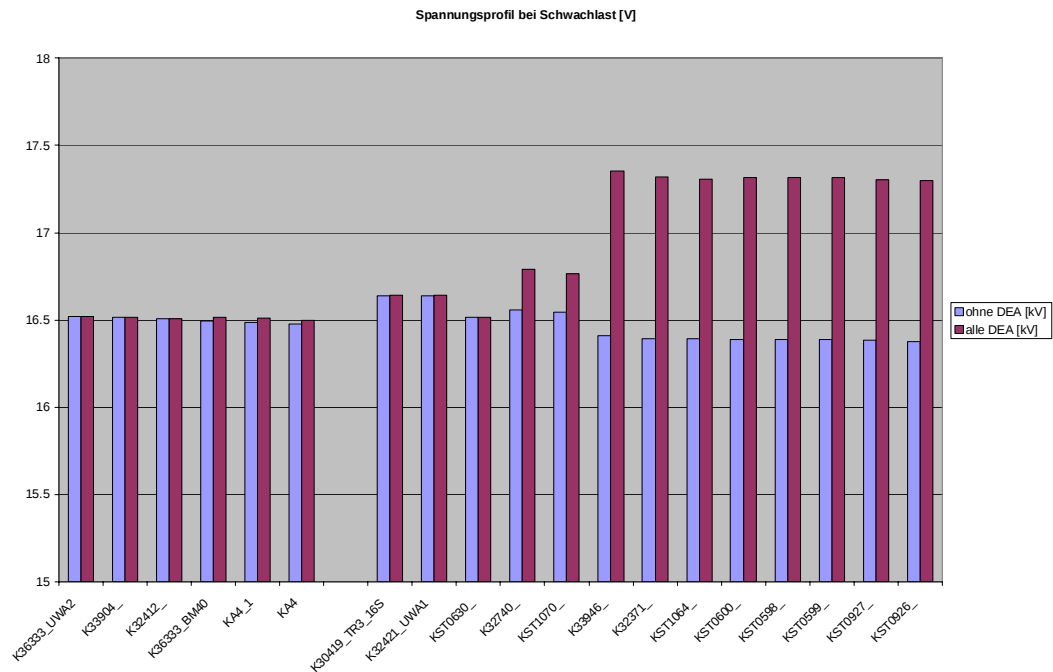


Abbildung 8: Spannungsprofil bei Schwachlast

2.4. WIRKLEISTUNGSPROFIL BEI PLANUNGSLAST

Für die Betrachtung der Wirkleistung in den Leitungen wurden vor allem diejenigen genauer untersucht, welche die DEA ans Netz ankoppeln. Weiter kommen noch sonstige stark belastete Leitungen im Netz dazu.

Die meisten Leitungen weisen mit allen DEA eine tiefere Wirkleistung auf als ohne DEA. Dies ist auf die bessere Energieverteilung zurück zu führen, wenn alle DEA eingeschaltet sind.

Die einzige Ausnahme bildet die Leitung L33945_10005283, weil sie sich im Strang der KVA befindet und ein Teil des Netzes über diese Leitung versorgt wird.

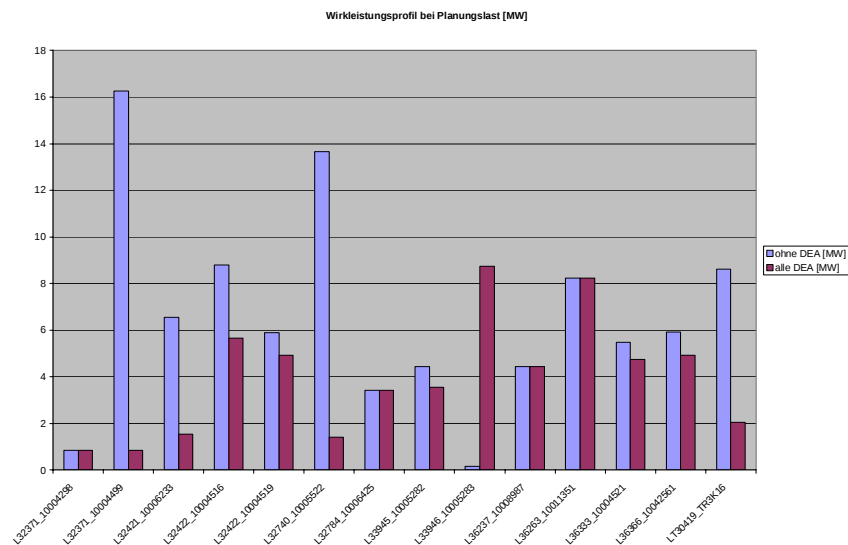


Abbildung 9: Wirkleistungsprofil bei Planungslast

2.5. WIRKLEISTUNGSPROFIL BEI HÖCHSTLAST

Durch die um 10 % geringer Last gehen auch die Wirkleistungen in den Leitungen um 10 % zurück.

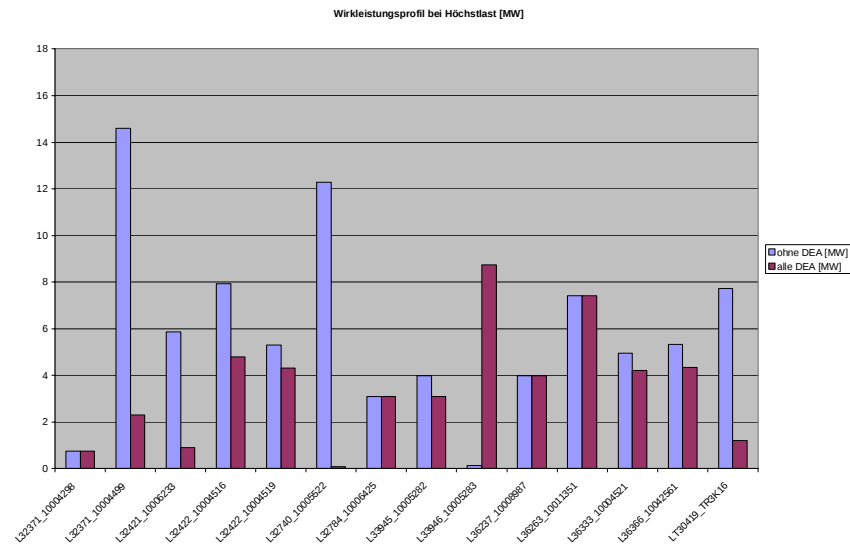


Abbildung 10: Wirkleistungsprofil bei Höchstlast

2.6. WIRKLEISTUNGSPROFIL BEI SCHWACHLAST

Bei Schwachlast gehen die Wirkleistungen noch einmal um den Faktor 3 zurück. Auffallend ist hier, dass nun mehrere Leitungen einen höheren Wert aufweisen wenn, die DEA eingeschaltet sind. Durch die kleineren Lasten steigen die Spannungen vor allem bei grossen Einspeisungen an, weil die Energie nicht mehr vor Ort verbraucht wird. Dies hat zur Folge, dass sich die Leistung anders über die Leitungen verteilt.

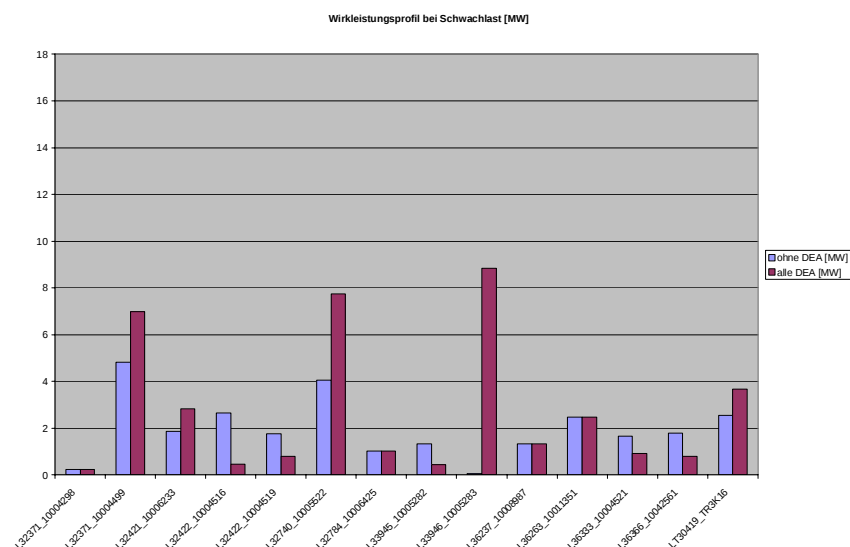


Abbildung 11: Wirkleistungsprofil bei Schwachlast

2.7. BLINDLEISTUNGSPROFIL BEI PLANUNGSLAST

Auch bei den Blindleistungen in den Leitungen ist es so, dass sie ohne DEA höher ist als mit. Diese Tatsache wirkt sich dann auch auf die Leitungsbelastung aus. Mit allen DEA ist sie tiefer, weil die Einspeisungen besser verteilt sind. Auch hier bildet die Leitung L33945_10005283 eine Ausnahme aus demselben Grund wie schon bei der Wirkleistung.

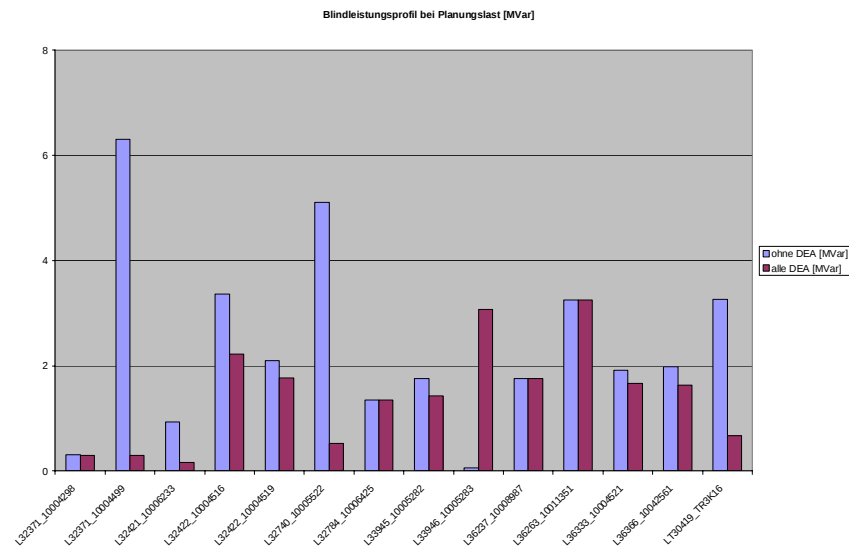


Abbildung 12: Blindleistungsprofil bei Planungslast

2.8. BLINDLEISTUNGSPROFIL BEI HÖCHSTLAST

Der Unterschied von Planungslast ist sehr klein, weil die zwei Varianten nur 10 % auseinanderliegen.

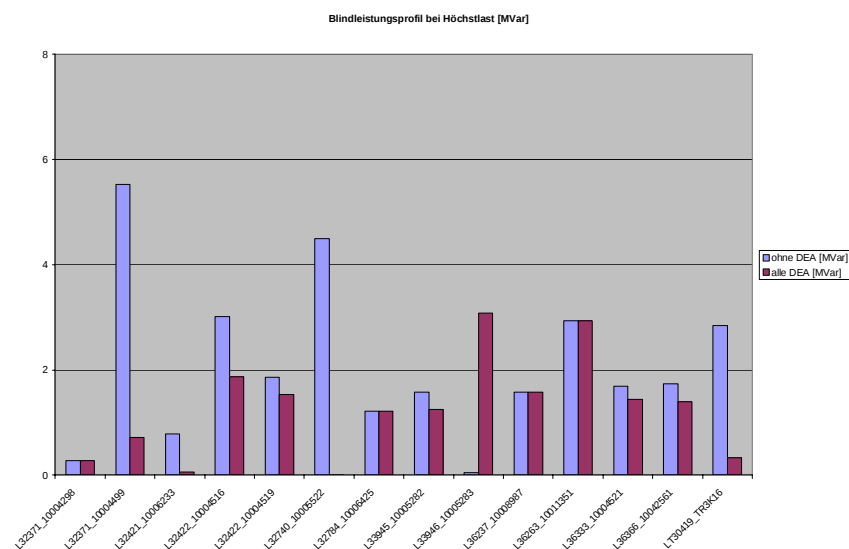


Abbildung 13: Blindleistungsprofil bei Höchstlast

2.9. BLINDLEISTUNGSPROFIL BEI SCHWACHLAST

Wie schon bei der Wirkleistung gibt es mit der Schwachlast mehrere Leitungen, die mit DEA höher belastet werden als ohne. Dies kommt daher, dass bei Schwachlast der Strom über andere Leitungen fließt, wenn die DEA dazugeschaltet werden.

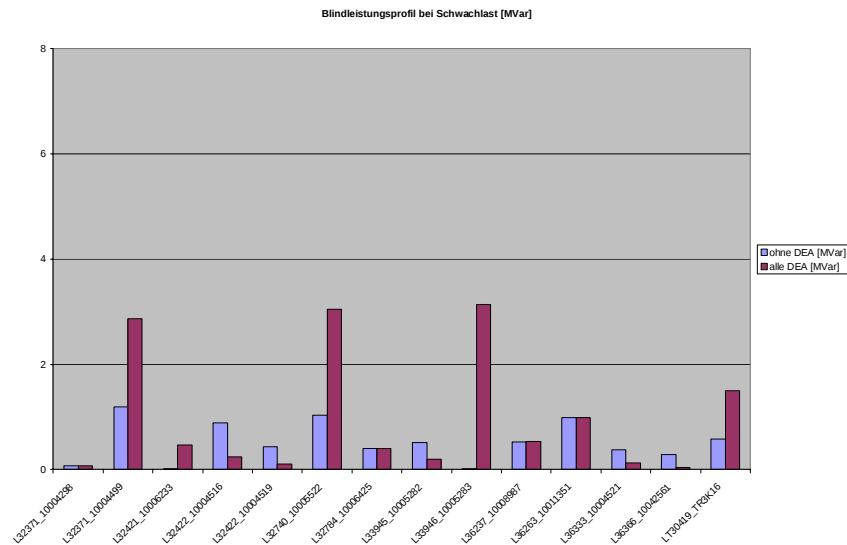


Abbildung 14: Blindleistungsprofil bei Schwachlast

2.10. LEITUNGS-AUSLASTUNG BEI PLANUNGS-LAST

Einzelne Leitungen sind ohne DEA um ein Vielfaches mehr belastet, als wenn mit DEA gearbeitet wird. Mit den verschiedenen Einspeisungen erreicht man eine bessere Verteilung der Leitungsbelastung. Bei den Leitungen an denen die DEA angeschlossen sind, steigt die Belastung an. Abbildung 15 zeigt, dass keine der angeschauten Leitungen überlastet sind. An der Leitung L32421_10004499 ist zu erkennen, dass ohne DEA schon fast kritische Werte erreicht werden.

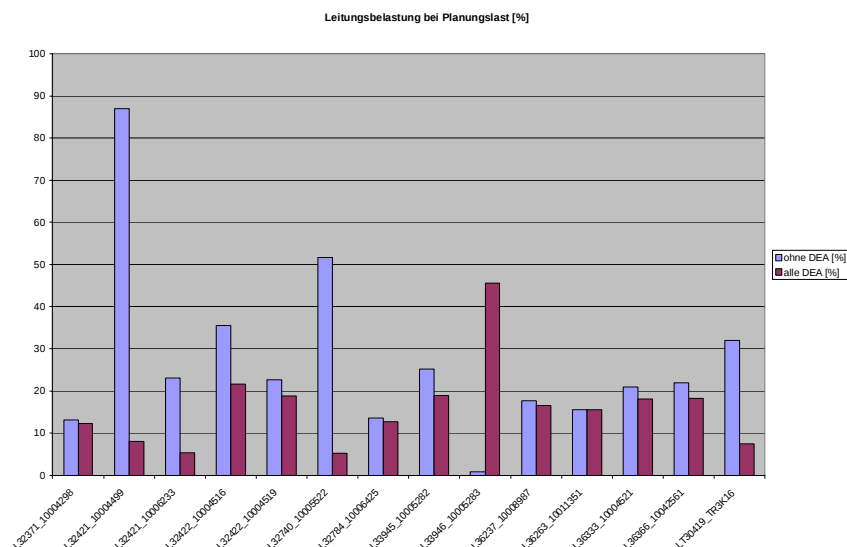


Abbildung 15: Leitungsbelastung in % bei Planungs-last

2.11. LEITUNGS AUSLASTUNG BEI HÖCHSTLAST

Im Vergleich zur Planungslast sinken die Leitungsbelastungen um 10%, was durch die geringeren Lasten zu begründen ist.

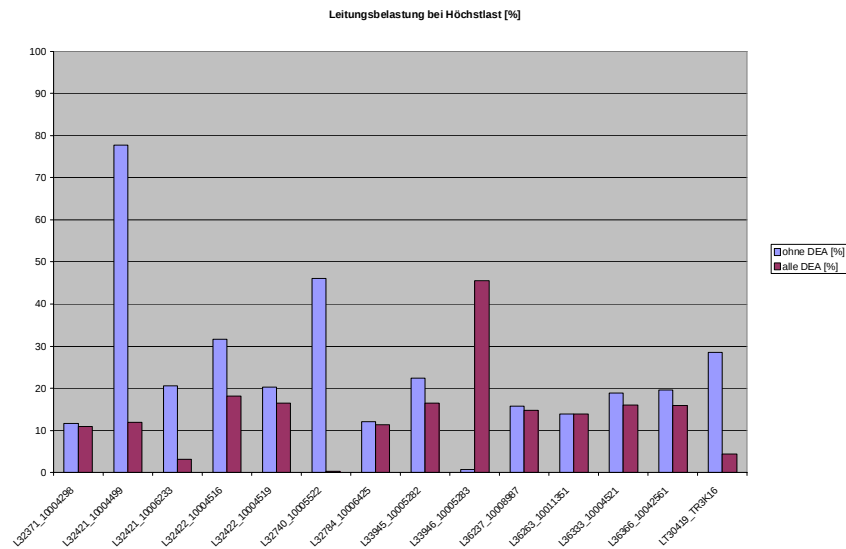


Abbildung 16: Leitungsbelastung in % bei Höchstlast

2.12. LEITUNGS AUSLASTUNG BEI SCHWACHLAST

Auffallend ist hier, dass einige Leitungen bei Schwachlast höher belastet sind, als bei Planungs- bzw. Höchstlast. Dies trifft allerdings nur auf die Simulationsvariante „alle DEA“ zu.

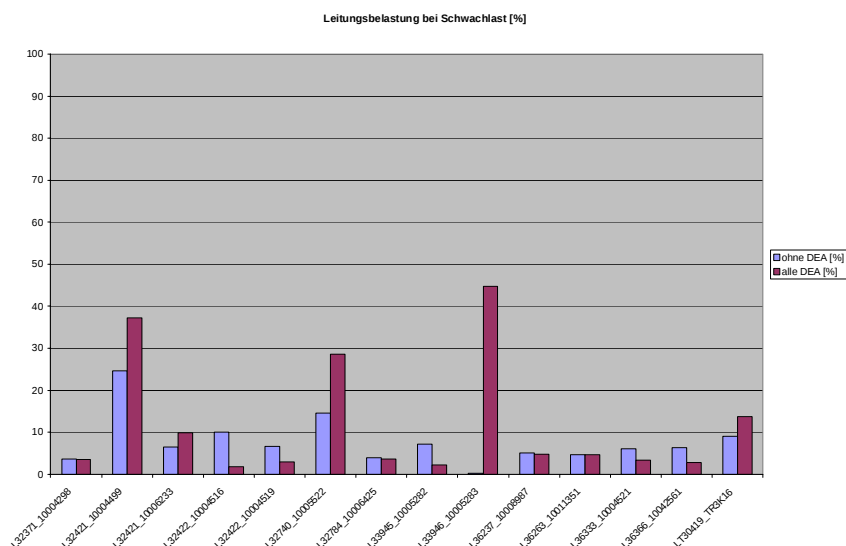


Abbildung 17: Leitungsbelastung in % bei Schwachlast

2.13. WIRKLEISTUNGEN DER DEA

Bei den ersten zwei Generatoren handelt es sich um Dampfturbinen einer Kehrrechtverbrennungsanlage. Der dritte ist ein dieselbetriebener Ersatzgenerator. Der Dieselgenerator wird als Notstromaggregat gebraucht und ist somit im Normalfall abgeschaltet. Bei den restlichen vier Anlagen handelt es sich um Laufwasserkraftwerke. Die gesamte installierte Leistung der DEA beläuft sich auf 25.2 MVA.

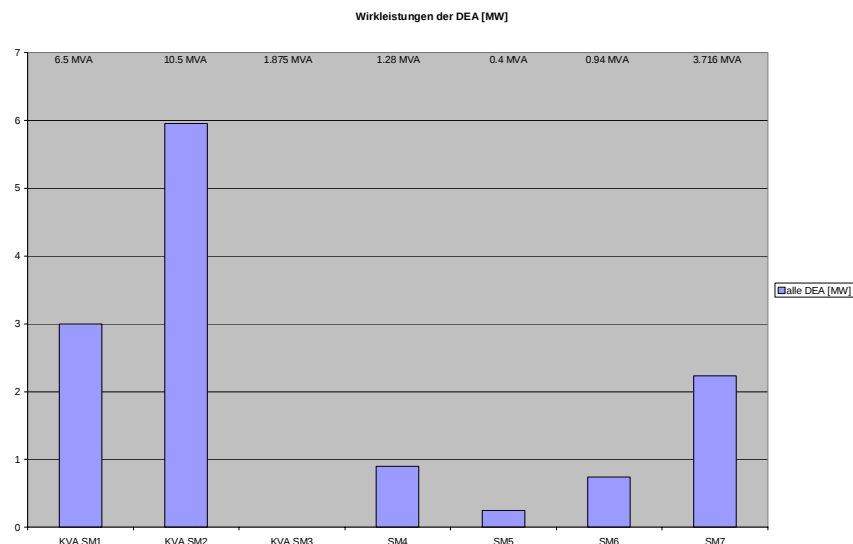


Abbildung 18: Installierte Leistung der DEA

2.14. BLINDLEISTUNGEN DER DEA

Die Synchronmaschinen der Kraftwerke weisen einen $\cos(\varphi)$ von 0.93 auf. Mit der Wirkleistung und dem $\cos(\varphi)$ ergeben sich folgende Blindleistungen der einzelnen Generatoren.

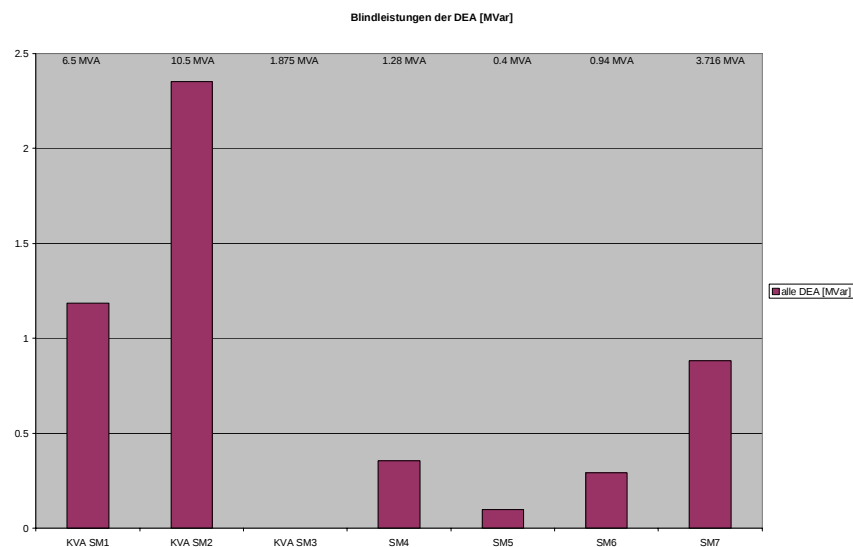


Abbildung 19: Blindleistung der DEA

2.15. ZUSAMMENFASSUNG DER VERSCHIEDENEN PROFILE

Das betrachtete Mittelspannungsnetz kann gemäss Abbildung 5 in zwei eigenständige Netze aufgeteilt werden, die von unterschiedlichen Unterwerken versorgt werden. Dadurch entstehen im ganzen Netz grosse Spannungsunterschiede. Sind alle DEA eingeschaltet, werden die Spannungen teilweise um bis zu 1 kV angehoben, wobei bei einer Nennspannung von 16 kV eine Spannungsschwankung von 10 % bzw. 1.6 kV tolerierbar ist.

Die meisten Leitungen weisen mit allen DEA eine tiefere Wirkleistung auf als ohne, was auf die bessere Energieverteilung zurück zu führen ist. Ausnahmen bilden hier die Leitungen nahe von grossen DEA wie zum Beispiel die der KVA. Bei schwacher Last steigt die Belastung von einigen Leitungen in der Nähe der grossen DEA an, weil die Leistung nicht vor Ort verbraucht wird und über grosse Distanzen transportiert wird.

Die Blindleistungen in den Leitungen sind ohne DEA höher als mit. Wie schon bei der Wirkleistung gibt es jedoch bei der Schwachlastsimulation mehrere Leitungen, die mit DEA höher belastet werden als ohne.

Im betrachteten MS-Netz sind zwei Dampfturbinen, ein Dieselgenerator und 4 Laufwasserkraftwerke im Einsatz, wobei der Dieselgenerator als Notstromaggregat gebraucht wird. Die Netzverluste nehmen mit DEA bei Planungs- und Höchstlast ab, was durch die bessere Einspeiseverteilung zu begründen ist. Durch die DEA wird bei Schwachlast genügend Wirkleistung zur Verfügung gestellt, so dass sogar ins übergeordnete Netz zurückgespiessen werden kann. Durch diese Rückspeisung wird im gesamten Netz mehr Leistung umgesetzt, was die höheren Netzverluste begründet.

Auch bei der Blindleistung gehen die Netzverluste zurück, wenn mit DEA gearbeitet wird. Sie verringern sich dabei um ein Vielfaches. Wegen dem vorherrschenden R/X-Verhältnis von 1:2 werden verhältnismässig mehr Blindleistungs- als Wirkleistungsverluste eingespart. Die Netzverluste bleiben auch bei Schwachlast ohne DEA grösser als mit. Damit kann die Aussage gemacht werden, dass mit DEA im Mittelspannungsnetz bei allen Lastzuständen vor allem Blindleistungsverluste eingespart werden können.

3. NETZBILANZEN

3.1. NETZBILANZ WIRKLEISTUNG BEI PLANUNGSLAST

Die Erzeugung der Generatoren ist bei Planungs-, Höchst- und Schwachlast immer genau gleich. Die Einspeisung variiert je nach Grösse der Lasten. Die Netzverluste nehmen mit DEA bei Planungslast ab, was durch die bessere Einspeiseverteilung zu begründen ist. Die genauen Werte sind aus der Tabelle 1 zu entnehmen.

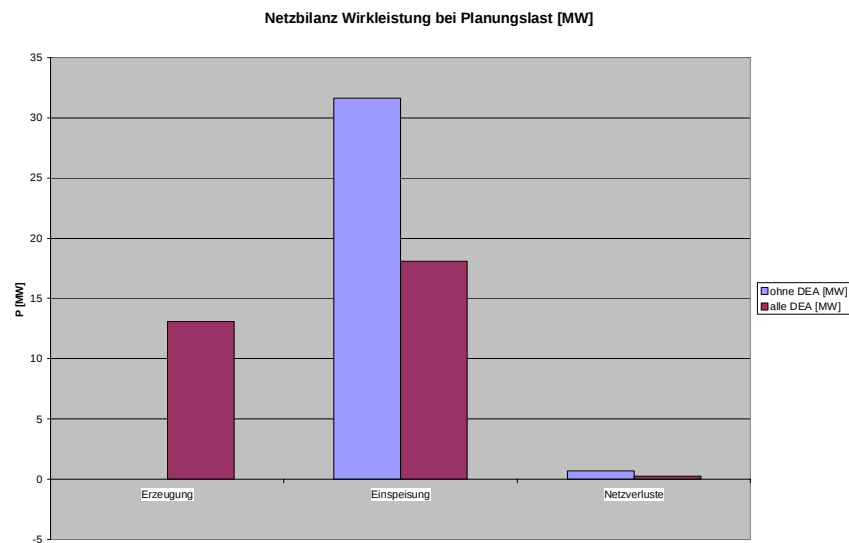


Abbildung 20: Netzbilanz der Wirkleistung bei Planungslast

3.2. NETZBILANZ WIRKLEISTUNG BEI HÖCHSTLAST

Durch die geringere Last sinkt die Einspeisung ohne DEA von Planungslast zu Höchstlast von 31.6 MW auf 28.4 MW. Auch mit DEA ist ein Rückgang von ca. 3 MW zu verzeichnen. Die Netzverluste verringern sich mit und ohne DEA gegenüber Planungslast.

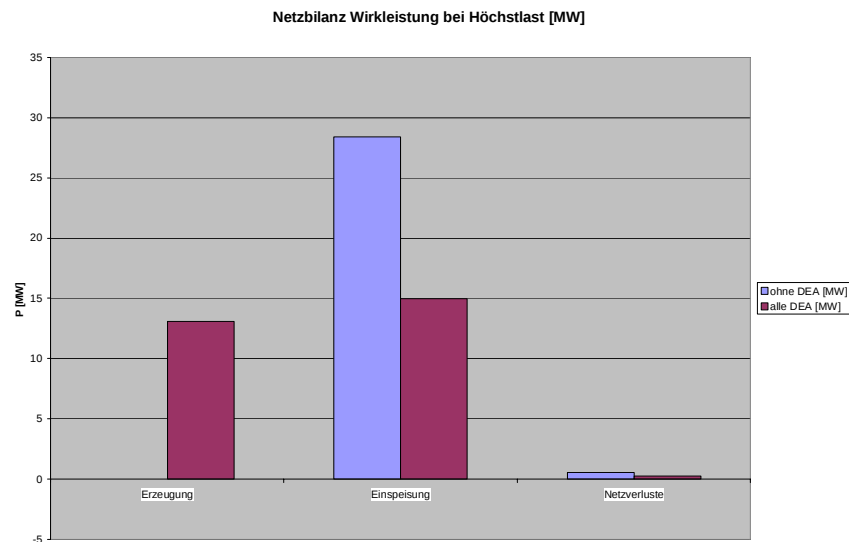


Abbildung 21: Netzbilanz der Wirkleistung bei Höchstlast

3.3. NETZBILANZ WIRKLEISTUNG BEI SCHWACHLAST

Durch die DEA wird bei Schwachlast genügend Wirkleistung zur Verfügung gestellt, so dass sogar ins übergeordnete Netz zurückgespielt werden kann. Durch diese Rückspeisung wird im gesamten Netz mehr Leistung umgesetzt, was die höheren Netzverluste begründet.

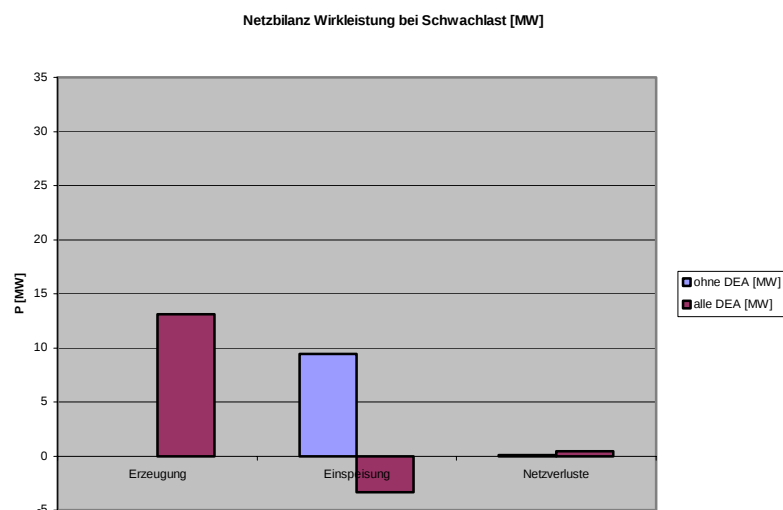


Abbildung 22: Netzbilanz der Wirkleistung bei Schwachlast

3.4. TABELLE DER WIRKLEISTUNGSBILANZEN

Werden die Netzverluste aus der Tabelle 1 mit DEA denjenigen ohne DEA gegenüber gestellt, so ist festzustellen, dass die Netzverluste bei Planungslast um den Faktor 2.5 abnehmen. Bei Höchstlast sind die NetzwirkLeistungsverluste 2.2 mal kleiner und bei Schwachlast sind 3.8 mal höher.

Netzbilanzen Wirkleistung	Planungslast ohne DEA [MW]	Planungslast alle DEA [MW]	Höchstlast ohne DEA [MW]	Höchstlast alle DEA [MW]	Schwachlast ohne DEA [MW]	Schwachlast alle DEA [MW]
Erzeugung	0	13.08	0	13.08	0	13.08
Einspeisung	31.6	18.09	28.39	14.99	9.44	-3.33
Netzverluste	0.71	0.28	0.58	0.26	0.11	0.42

Tabelle 1: Zusammenstellung der Wirkleistungsbilanzen

3.5. NETZBILANZ BLINDLEISTUNG BEI PLANUNGSLAST

Auch bei der Blindleistung gehen die Netzverluste zurück, wenn mit DEA gearbeitet wird. Sie verringern sich dabei um ein Vielfaches. Wegen dem vorherrschenden R/X-Verhältnis von 1:2 wird verhältnismässig mehr Blindleistungs- als Wirkleistungsverluste eingespart.

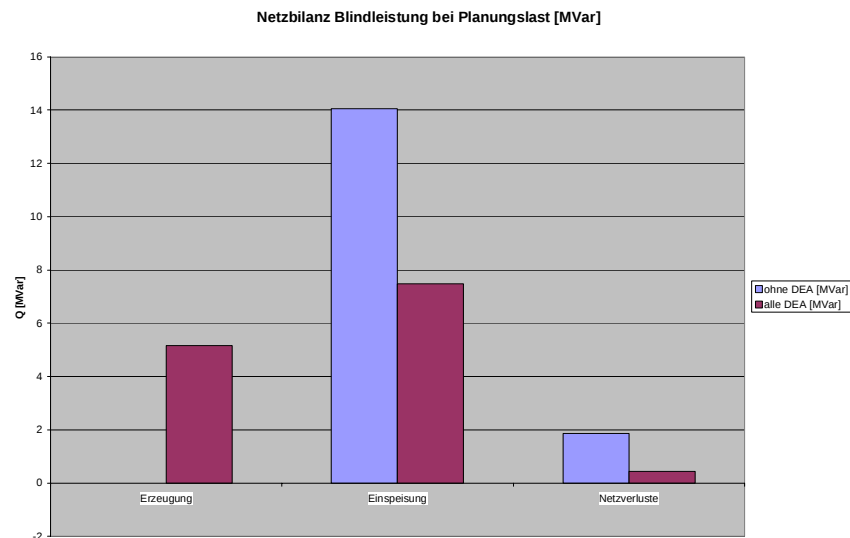


Abbildung 23: Netzbilanz der Blindleistung bei Planungslast

3.6. NETZBILANZ BLINDLEISTUNG BEI HÖCHSTLAST

Der Vergleich von Planungslast und Höchstlast ergibt wieder einen zehnpromzentigen Rückgang der Blindleistungen.

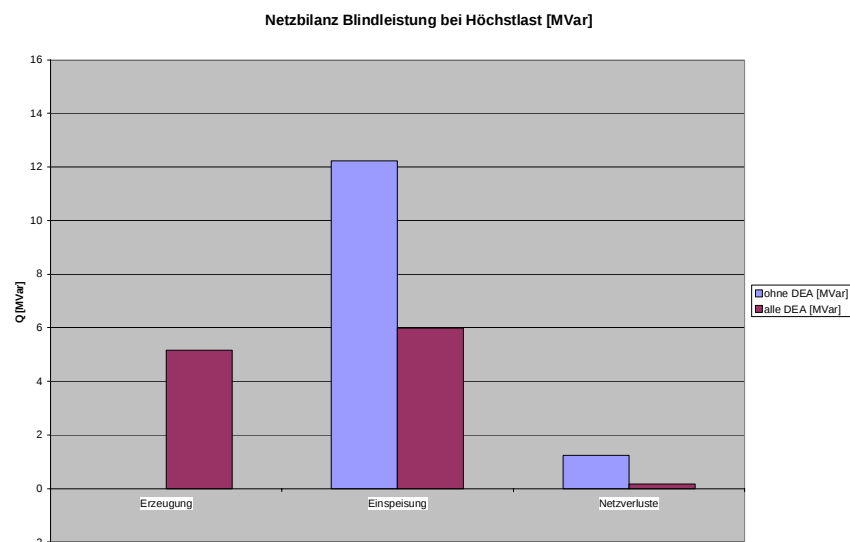


Abbildung 24: Netzbilanz der Blindleistung bei Höchstlast

3.7. NETZBILANZ BLINDLEISTUNG BEI SCHWACHLAST

Bei Schwachlast wird Blindleistung in die umliegenden Netze zurückgespielen. Die Netzverluste bleiben auch bei Schwachlast ohne DEA grösser als mit. Die genauen Werte sind aus der Tabelle 2 zu entnehmen.

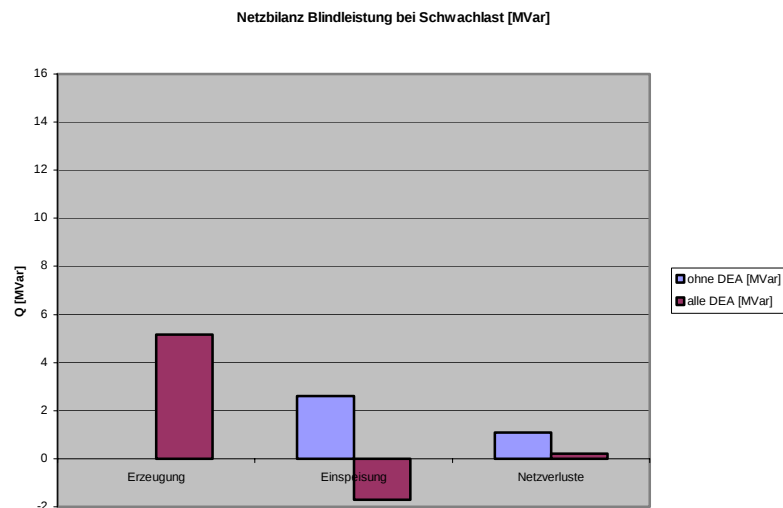


Abbildung 25: Netzbilanz der Blindleistung bei Schwachlast

3.8. TABELLE DER BLINDLEISTUNGSBILANZEN

Werden die Blindleistungsnetzverluste aus der Tabelle 2 mit DEA denjenigen ohne DEA gegenüber gestellt, so ist festzustellen, dass die Netzverluste bei Planungslast um den Faktor 4.2 abnehmen. Bei Höchstlast sind die Netzblindleistungsnetzverluste 7.2 mal und bei Schwachlast sind 5 mal kleiner.

Netzbilanz Blindleistung	Planungslast ohne DEA [MVar]	Planungslast alle DEA [MVar]	Höchstlast ohne DEA [MVar]	Höchstlast alle DEA [MVar]	Schwachlast ohne DEA [MVar]	Schwachlast alle DEA [MVar]
Erzeugung	0	5.17	0	5.17	0	5.17
Einspeisung	14.06	7.48	12.22	5.99	2.6	-1.7
Netzverluste	1.86	0.44	1.23	0.17	1.09	0.22

Tabelle 2: Zusammenstellung der Blindleistungsbilanzen

3.9. ZUSAMMENFASSUNG NETZBILANZEN

Die Erzeugung der Generatoren ist bei Planungs-, Höchst- und Schwachlast immer genau gleich. Die Einspeisung variiert je nach Grösse der Lasten. Die Netzverluste nehmen mit DEA bei Planungslast ab, was durch die bessere Einspeiseverteilung zu begründen ist.

Durch die DEA wird bei Schwachlast genügend Wirkleistung zur Verfügung gestellt, so dass sogar ins übergeordnete Netz zurückgespielen werden kann. Durch diese Rückspeisung wird im gesamten Netz mehr Leistung umgesetzt, was die höheren Netzverluste begründet.

Auch bei der Blindleistung gehen die Netzverluste zurück, wenn mit DEA gearbeitet wird. Sie verringern sich dabei um ein Vielfaches. Wegen dem vorherrschenden R/X-Verhältnis von 1:2 werden verhältnismässig mehr Blindleistungs- als Wirkleistungsverluste eingespart. Bei Schwachlast wird Blindleistung in die umliegenden Netze zurückgespielen. Die Netzverluste bleiben auch bei Schwachlast ohne DEA grösser als mit.

4. TAGESVERLÄUFE

4.1. „OHNE DEA“ TAGESVERLÄUFE DER EINSPEISUNGEN

Im Mittelspannungsnetz der AEW gibt es zwei unterschiedliche Lasttypen. Zum einen sind dies die normalen Haushaltslasten mit dem Nachttal und den Spitzen am Mittag und am Abend. Die Industrielast weist zwei Spitzen während des Tages auf und geht in der Nacht gegen Null. Diese Tagesverläufe der Einspeisungen resultieren aus der Kombination der zwei Lasttypen.

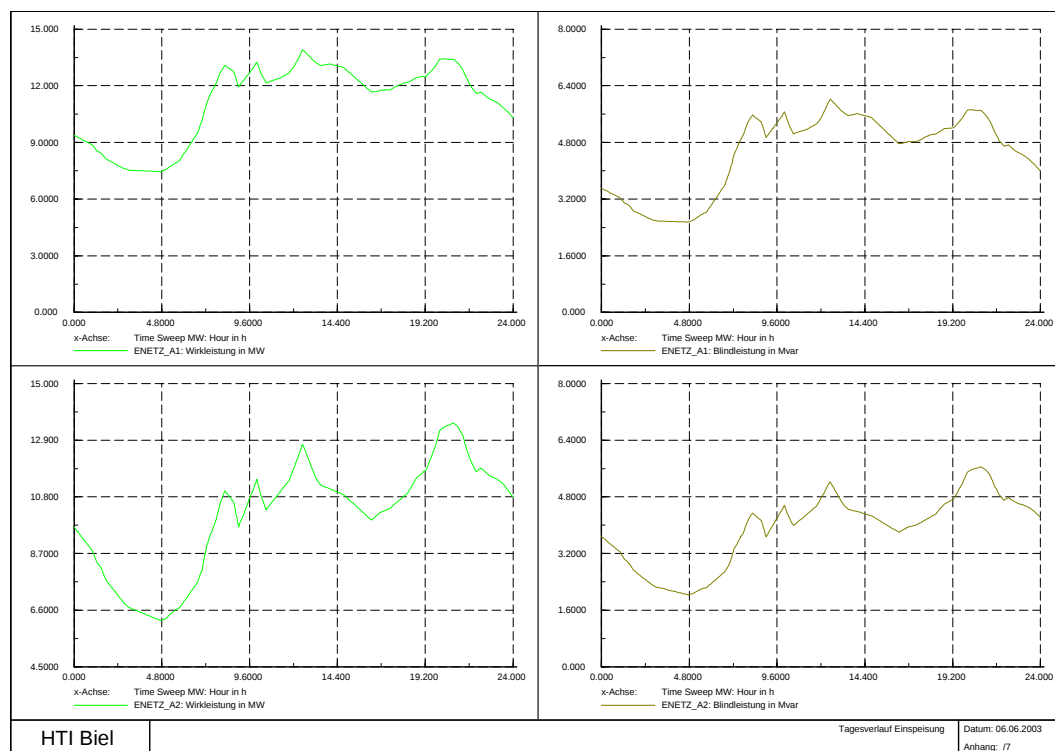


Abbildung 26: Tagesverläufe ohne DEA

4.2. „OHNE DEA“ TAGESVERLAUF DER SPANNUNGEN

Die Tagesverläufe der Spannungen sind nur von den Verläufen der Lasten abhängig. Bei grosser Last sinkt die Spannung und bei kleiner steigt sie an. Durch die zwei verschiedenen Lasttypen ergeben sich folgende Kurvenformen:

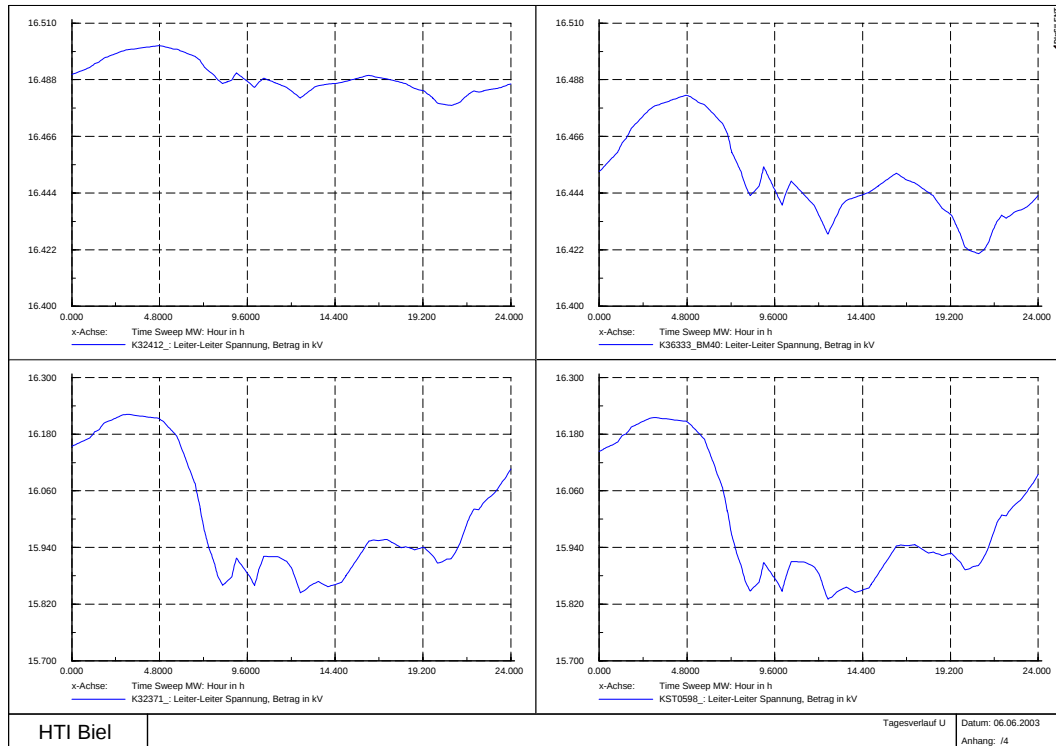


Abbildung 27: Spannungsverläufe ohne DEA

4.3. „OHNE DEA“ TAGESVERLAUF DER LEITUNGSSTRÖME

Da der grösste Teil der Lasten einer Haushaltslast entspricht, folgen die Ströme einem typischen Tagesverlauf.

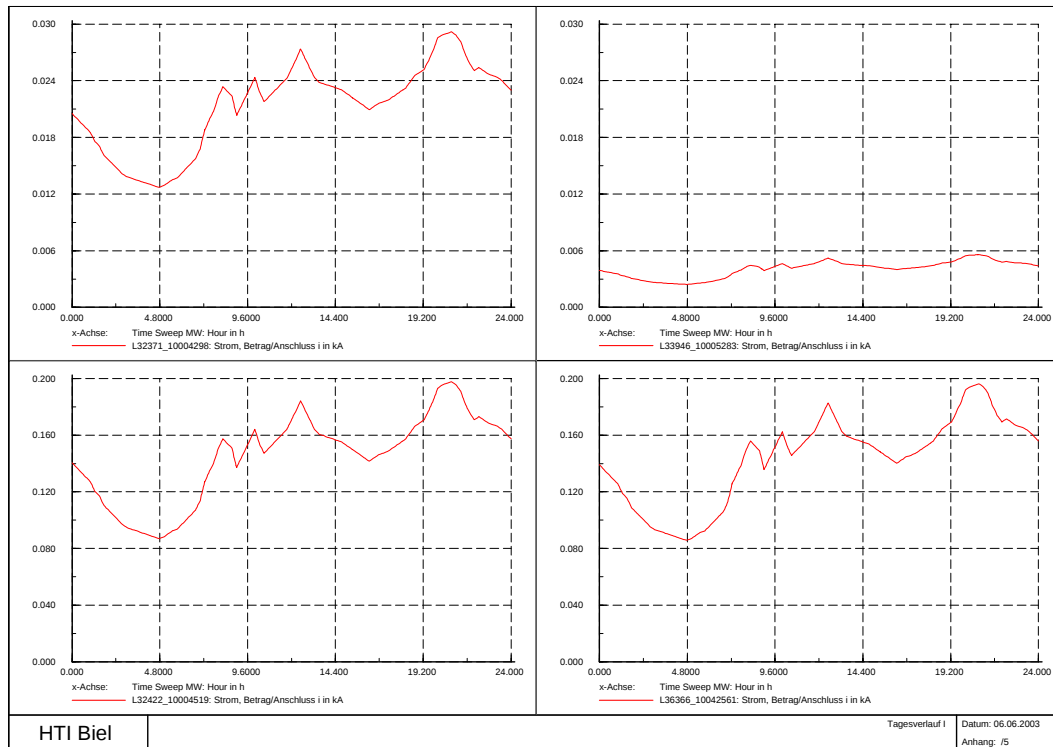


Abbildung 28: Stromverläufe ohne DEA

4.4. „OHNE DEA“ TAGESVERLAUF LEITUNGS AUSLASTUNG

Die Auslastung der meisten Leitungen erreichen während eines Tages kaum 20 %.

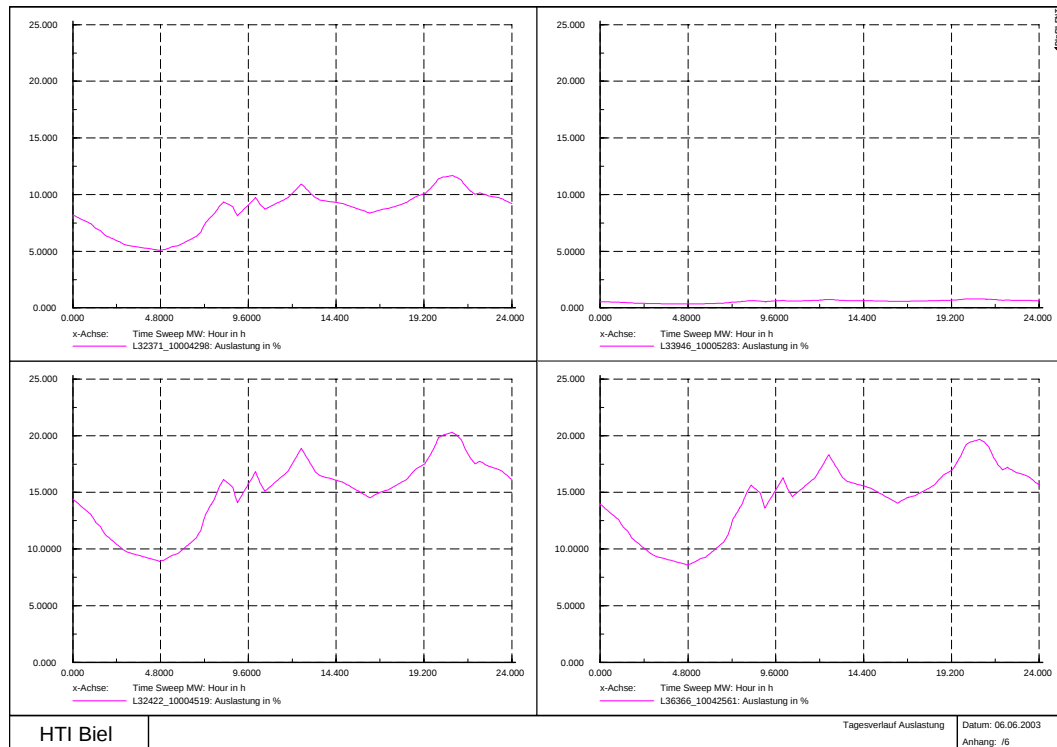


Abbildung 29: Verläufe der Leitungsauslastungen in % ohne DEA

4.5. „ALLE DEA“ TAGESVERLÄUFE DER KVA SM1

Die zwei Dampfturbinen der KVA folgen dem gleichen Tagesverlauf. Die Spannung variiert während des Tages um etwa 2%. Markant sind die zwei Leistungsspitzen um 6.00 Uhr und 18.00 Uhr. Dieser Tagesverlauf variiert stark und ist wegen den unterschiedlich vorhandenen Primärenergien jeden Tag anders. Für die Tagesverlauf-Simulationen wurde ein typischer Tag verwendet.

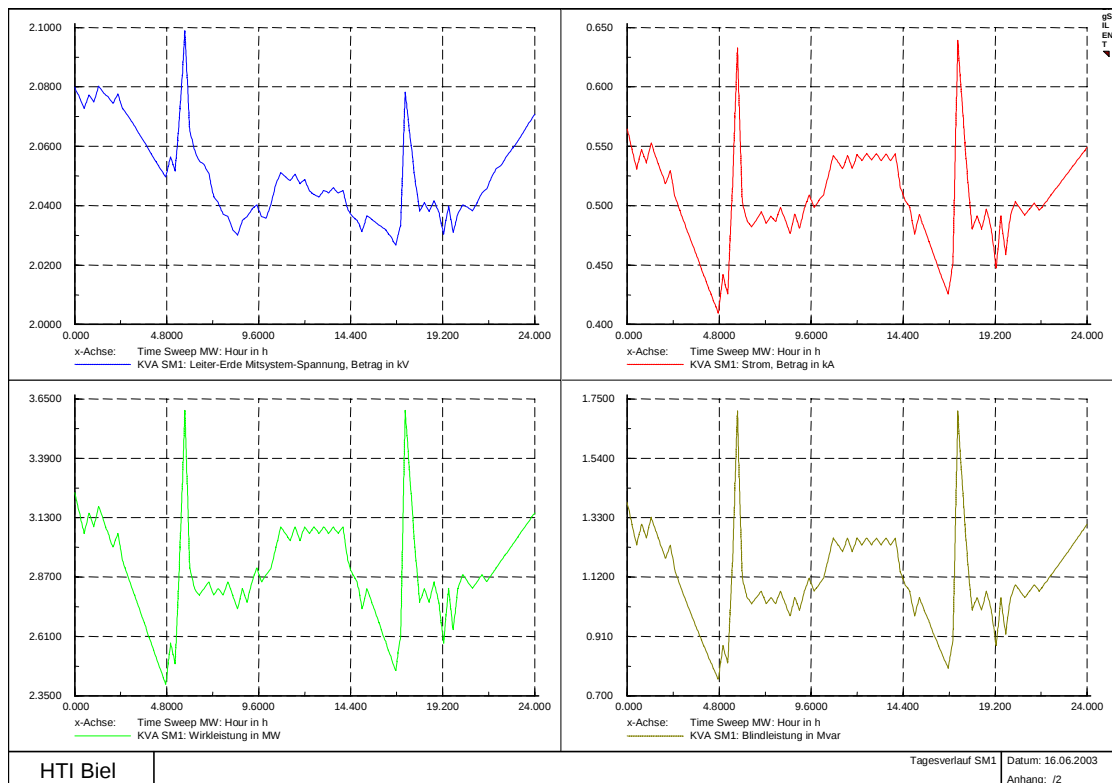


Abbildung 30: Tagesverläufe der KVA SM1

4.6. „ALLE DEA“ TAGESVERLÄUFE DER KVA SM2

Die Verläufe der SM2 sind praktisch identisch mit denen der SM1. Die Nennspannung des Generators beträgt 4 kV, anstatt 2 kV und durch die höhere Nennleistung ergeben sich auch andere Leistungskurven.

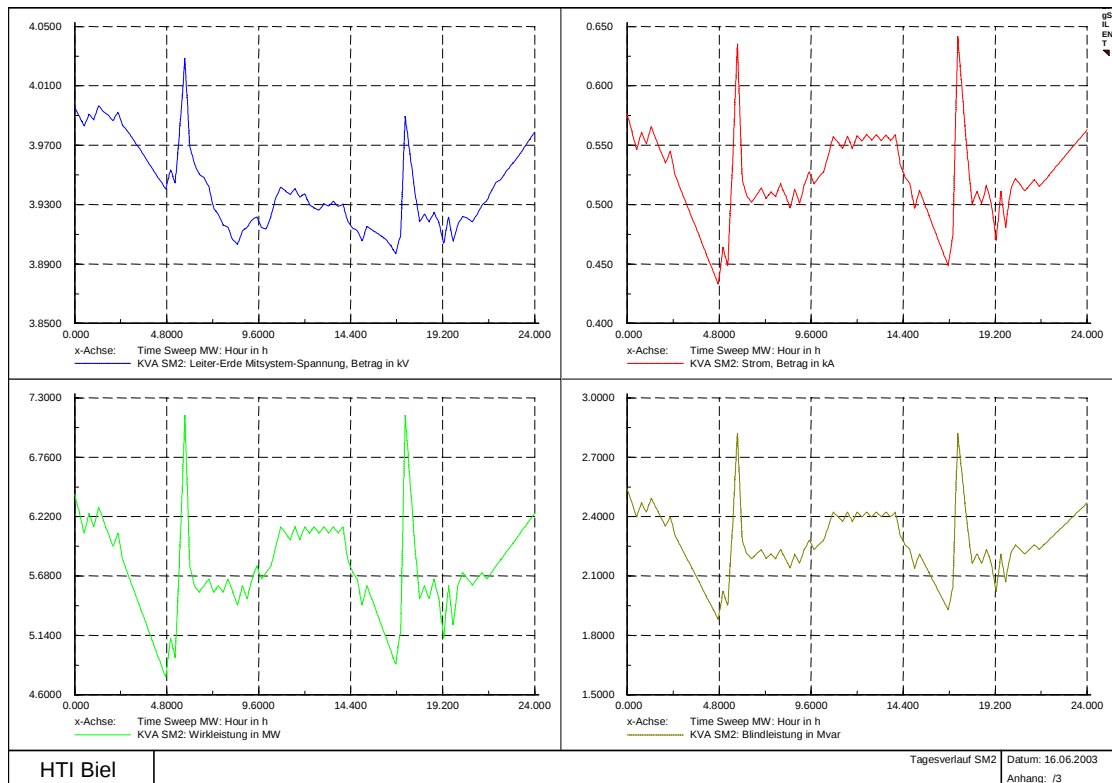


Abbildung 31: Tagesverläufe der KVA SM2

4.7. „ALLE DEA“ TAGESVERLÄUFE DER EINSPEISUNG

Die Laufwasserkraftwerke speisen mit konstanter Leistung ins Netz ein. Die Dampfturbinen der KVA folgen einem Verlauf, der in Abbildung 30 zu sehen ist. Dadurch sind die zwei Leistungseinbrüche des externen Netz ENETZ_A1 um ca. 6.00 Uhr und 18.00 Uhr zu begründen. Der Verlauf des zweiten externen Netz entspricht in etwa dem ohne DEA.

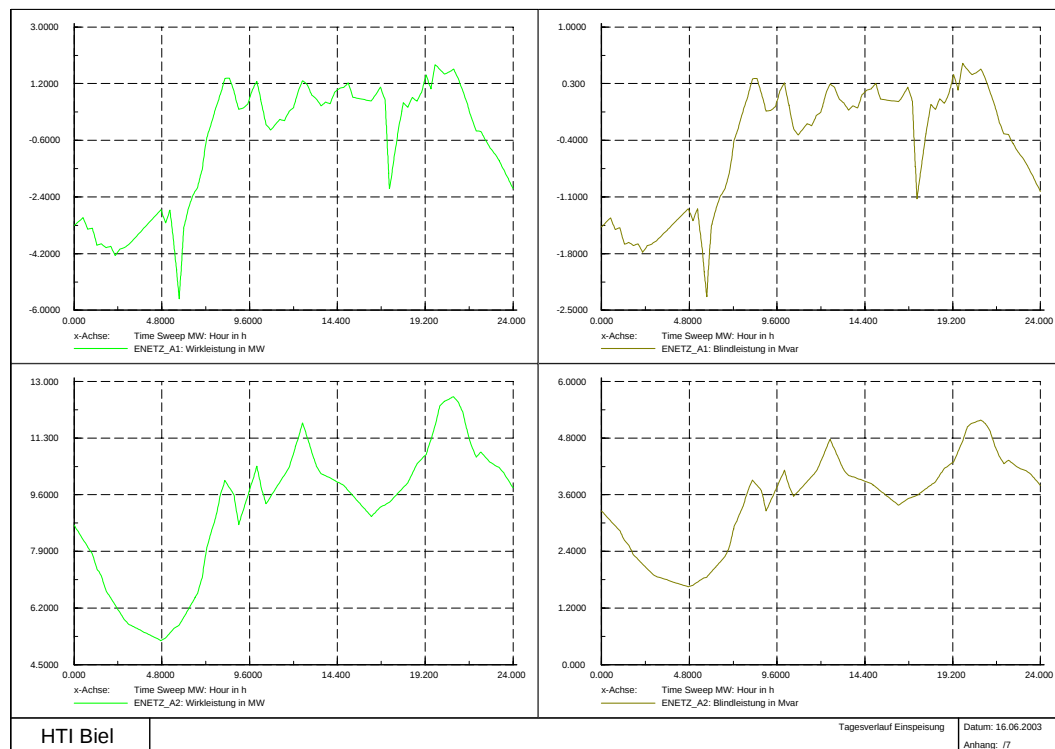


Abbildung 32: Tagesverläufe der Einspeisungen ab den Unterwerken

4.8. „ALLE DEA“ TAGESVERLAUF DER SPANNUNGEN

Die Sammelschiene der linken oberen Spannungskurve befindet sich bei einem Laufwasserkraftwerk, einer Industrie- und einer Haushaltslast, beide sind in etwa gleich gross. Bei der Kurve oben rechts, handelt es sich um eine Sammelschiene, an die eine reine Haushaltslast angeschlossen ist. Die unteren beiden Sammelschienen befinden sich bei der Einspeisung der KVA.

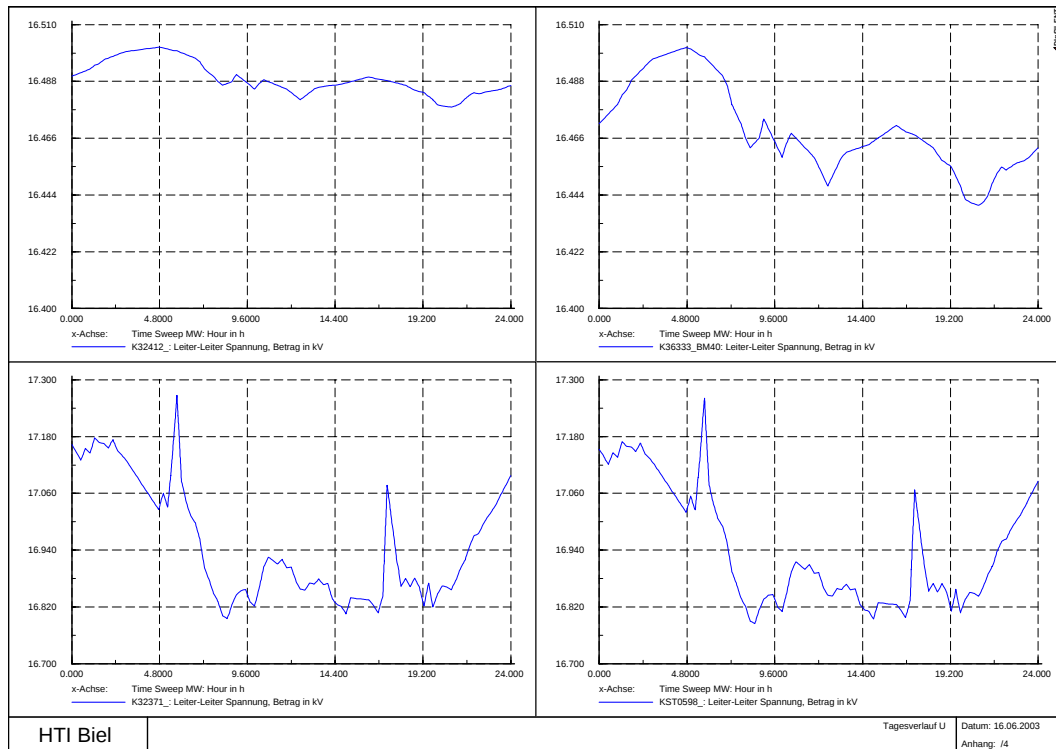


Abbildung 33: Spannungsverläufe mit allen DEA

4.9. „ALLE DEA“ TAGESVERLAUF DER LEITUNGS AUSLASTUNG

Die meisten Leitungen liegen weit unter ihrer Belastungsgrenze. Einzig bei der Einspeisung der KVA übersteigt die Leitungsbelastung die 50 % Marke.

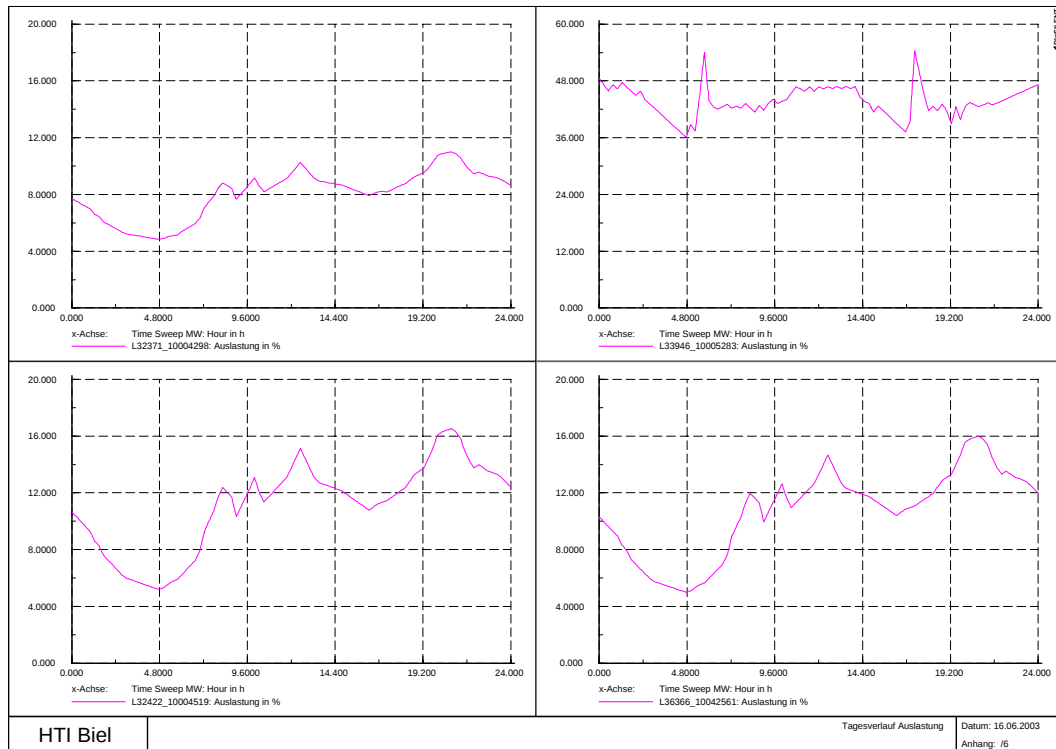


Abbildung 34: Verläufe der Leitungsauslastungen in % mit allen DEA

4.10. „ALLE DEA“ TAGESVERLAUF DER LEITUNGSSTRÖME

Da der grösste Teil der Lasten einer Haushaltslast entspricht, folgen die Ströme einem typischen Tagesverlauf. Eine Ausnahme bildet hier die Leitung L33946_10005283 oben rechts. Sie bildet die Einspeisung der KVA und folgt deren Einspeiseleistung.

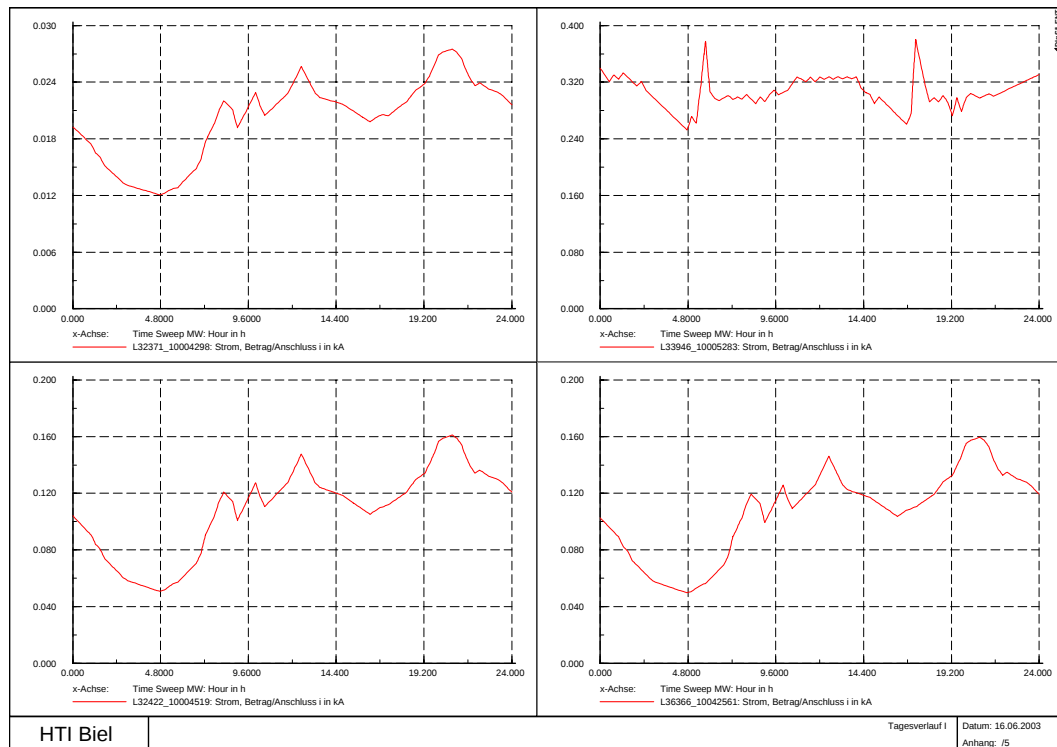


Abbildung 35: Stromverläufe mit allen DEA

4.11. ZUSAMMENFASSUNG TAGESVERLÄUFE

Im Mittelspannungsnetz der AEW gibt es zwei unterschiedliche Lasttypen. Zum einen sind dies die normalen Haushaltslasten mit dem Nachttal und den Spitzen am Mittag und am Abend. Die Industrielast weist zwei Spitzen während des Tages auf und geht in der Nacht gegen Null. Wenn keine DEA eingesetzt werden, resultieren die Tagesverläufe der Einspeisungen (externen Netze) aus der Kombination der zwei Lasttypen. Bei grosser Last sinkt die Spannung und bei kleiner steigt sie an.

Da der grösste Teil der Lasten einer Haushaltslast entspricht, folgen die Ströme einem typischen Tagesverlauf. Mit dem Einsatz der DEA nehmen die Tagesverläufe an verschiedenen Knoten recht unterschiedliche Formen an. Während Laufwasserkraftwerke praktisch immer mit konstanter Leistung ins Netz einspeisen, gibt es bei der KVA grössere Schwankungen bedingt durch die Primärenergie und dem Eigenverbrauch der KVA.

Die Spannung der zwei Dampfturbinen der KVA variiert während des Tages um etwa 2%.

Die meisten Leitungen liegen weit unter ihrer Belastungsgrenze. Einzig bei der Einspeisung der KVA übersteigt die Leitungsbelastung die 50 % Marke.

5. KURZSCHLUSSWERTE

5.1. KURZSCHLUSSLEISTUNGEN

Mit DEA steigen die Kurzschlussleistungen auf allen Leitungen an. Ausgewählt wurden hier die Leitungen an denen DEA angeschlossen wurden. An den beiden rechten Klemmen befinden sich zwei grosse DEA, bei der Klemme K33946 die KVA und bei der Klemme KST0927 ein grosses Laufwasserkraftwerk.

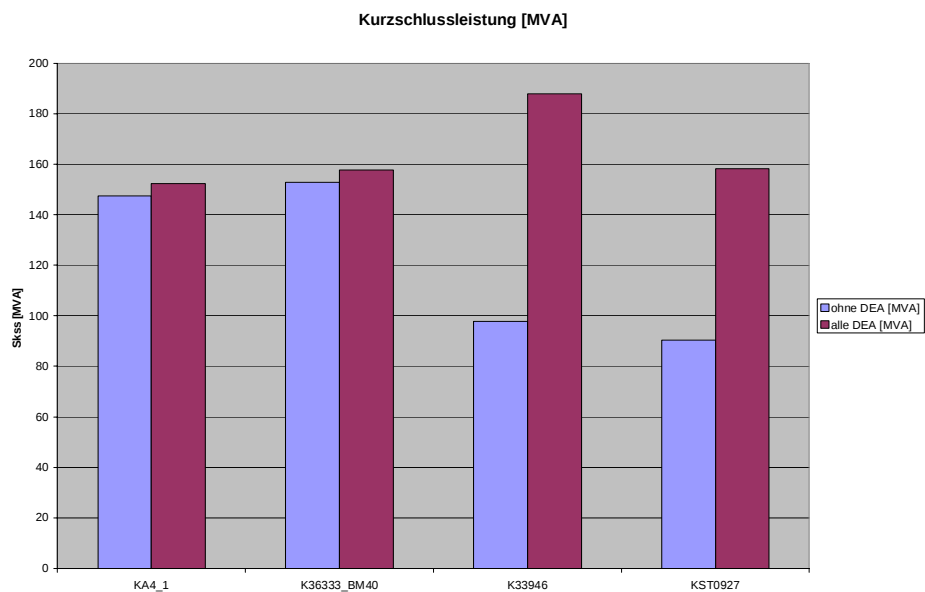


Abbildung 36: Kurzschlussleistungen

5.2. KURZSCHLUSSTRÖME

Die Kurzschlussströme sind proportional zur Kurzschlussleistung und vergrössern sich mit DEA.

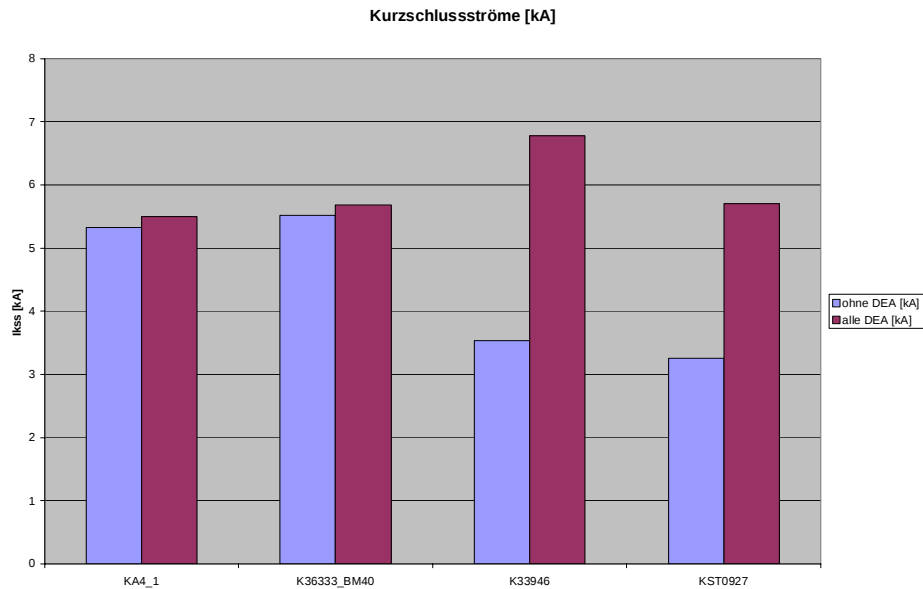


Abbildung 37: Kurzschlussströme

5.3. KURZSCHLUSSSPITZENSTRÖME

Die Kurzschlussspitzenströme sind proportional zu den Kurzschlussströmen und somit auch zu den Kurzschlussleistungen.

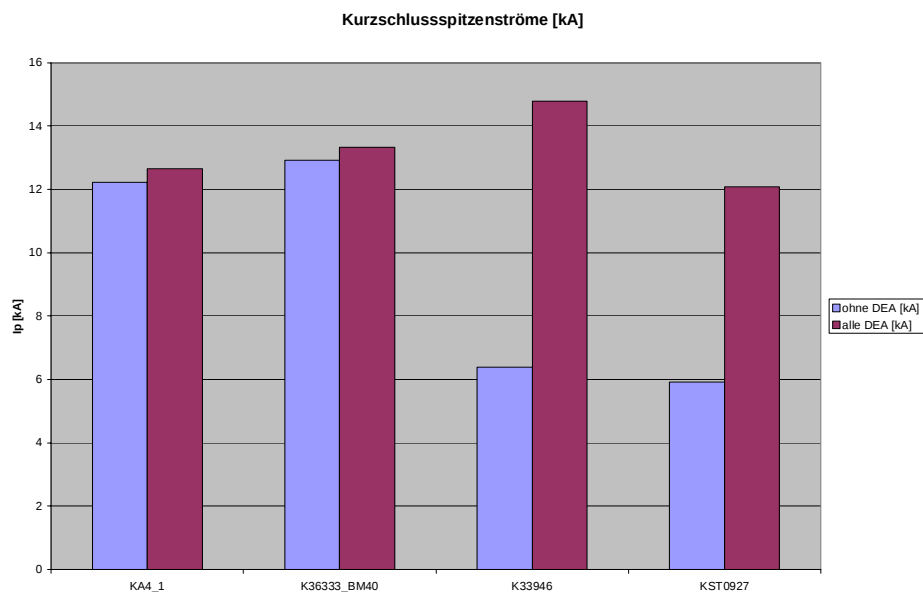


Abbildung 38: Kurzschlussspitzenströme

5.4. ZUSAMMENFASSUNG KURZSCHLUSSSIMULATIONEN

Es wurden vor allem Leitungen, an denen DEA angeschlossen sind, genauer untersucht. Naturgemäss steigen die Kurzschlussleistungen durch den Einsatz von DEA bzw. Synchronmaschinen an. Je grösser eine Maschine ist, desto grösser wird auch der Anstieg der Kurzschlussleistung. Die Kurzschlussströme sind proportional zur Kurzschlussleistung und vergrössern sich auch beim Einsatz von DEA.

6. NETZDYNAMIK

6.1. LAST EIN / AUS IM VERBUNDNETZ

Für die Simulationsrechnungen wurden zwei Maschinen der KVA mit einer Spannungs- und einer Frequenzregelung ausgestattet. Beim Frequenzregler handelt es sich um einen Proportionalregler mit Statikwerten zwischen 5 und 15% . Der Spannungsregler wirkt integrierend wobei zusätzlich der Blindstrom aufgeschaltet wurde (Bindleistungsstatik).

Das dynamische Verhalten des Mittelspannungsnetzes wird bei Verbindung mit dem Verbundnetz im Wesentlichen durch den Netzanschluss bestimmt. Nach 50 Sekunden wird eine Last mit 2.5MW und 1 MVar weggeschaltet und nach weiteren 50 s wieder dazugeschaltet. Die kleine Frequenzänderung von 10 mHz in Abbildung 39 rührt von dem extrem stabilen Verbundnetz mit einer Statik von 50 GW/Hz. Dargestellt sind neben Spannungs- und Frequenzverlauf auch die Wirk- und Blindleistungsabgabe der beiden Maschinen der KVA.

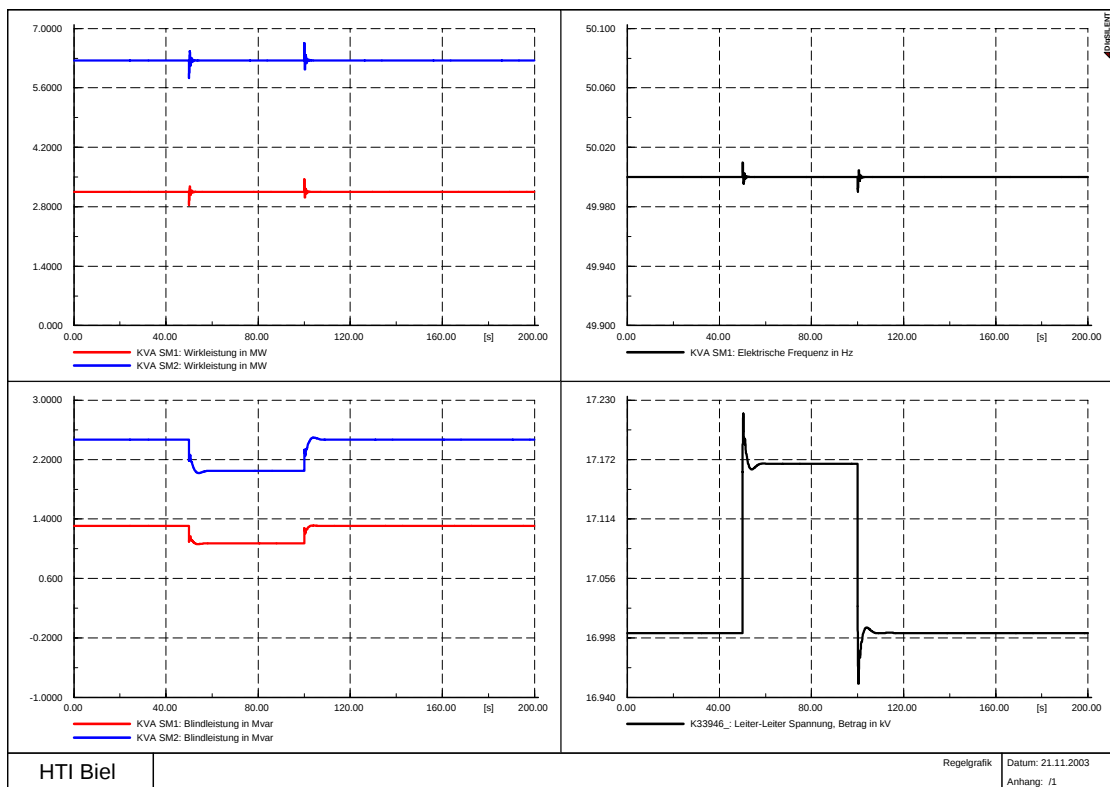


Abbildung 39: Verhalten des Netzes im Verbundbetrieb bei Laständerungen

6.2. SIMULATIONEN IM INSELNETZ

Die Nennscheinleistung der beiden während der Simulationsrechnungen am Netz befindlichen Maschinen der KVA betragen 6.5 MVA und 10.5 MVA. Damit stehen maximal 17 MVA Regelleistung zu Verfügung. Weiter sind noch die Laufwasserkraftwerke ohne Regelung mit 3.716 MVA und 1.28 MVA im Inselnetz in Betrieb und der Dieselgenerator mit 1.875 MVA stellt die Reserve dar.

Nach 5 Sekunden wird der Schalter des Externen Netzes geöffnet. Damit wird ein Inselnetz mit der KVA gebildet. Die drei Netzteile sind in Abbildung 40 farblich gekennzeichnet.

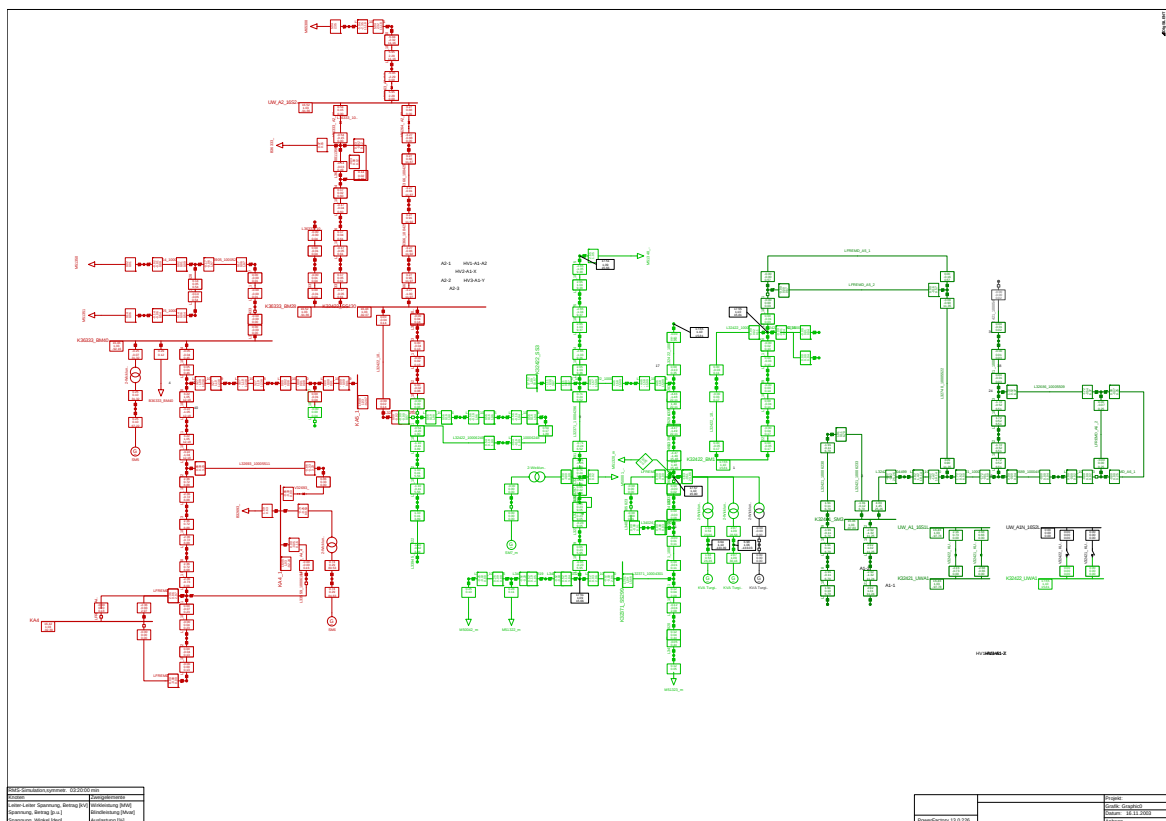


Abbildung 40: Teilnetze bei den Simulationen im Inselnetz

Zum Zeitpunkt der Inselnetzbildung fand ein Leistungsexport aus dem betrachteten Teilnetz Mitte statt. Bedingt durch die Regelungen ergibt sich sowohl eine Drehzahl, als auch eine Spannungserhöhung. Der Betrieb des Inselnetzes funktioniert so lange die gesamte Leistung im Inselnetz kleiner ist als die maximale Erzeugung der Generatoren. Bei Engpässen könnte der Dieselgenerator noch zusätzlich dazugeschaltet werden.

Werden zusätzlich die gleichen Lastabschaltungen und Lastzuschaltungen vorgenommen wie beim Netzparallelbetrieb, ergibt sich zeitweise ein starker Frequenzanstieg. Diese unkontrollierten Frequenzschwankungen können durch den zusätzlichen Einbau einer integrierend wirkenden Frequenzregelung ausgeglichen werden.

In Abbildung 41 sind die entsprechenden Leistungs-, Spannungs- und Frequenzverläufe dargestellt, wenn die grössere Maschine mit einer so genannten Sekundärregelung ausgestattet wird. Es wird deutlich, dass eine Frequenzstabilisierung aufgrund der Leistungsverhältnisse im Netz möglich wäre.

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die Simulationen auf Erfahrungswerten zur Kraftwerksregelung beruhen, da die für Dynamiksimulationen notwendigen Informationen zu den Kraftwerken im Mittelspannungsnetz des AEW nicht verfügbar waren.

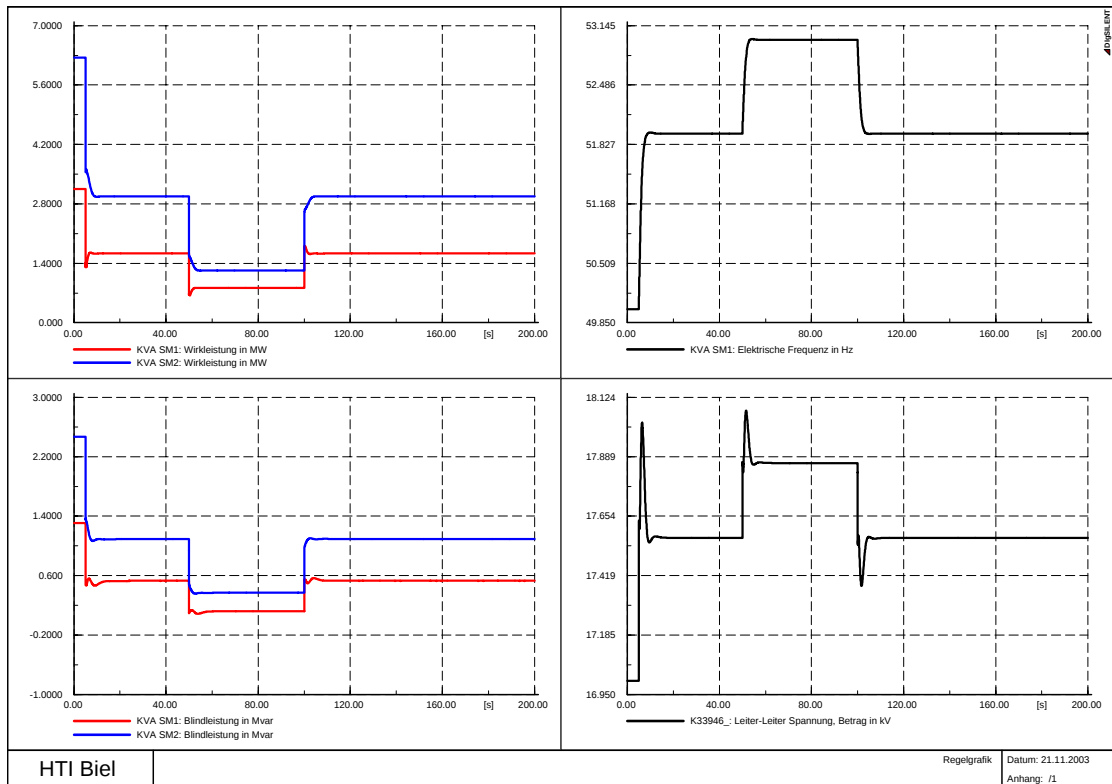


Abbildung 41: Leitungs-, Spannungs- und Frequenzverläufe im Inselnetz mit Primärregelung bei Laständerungen

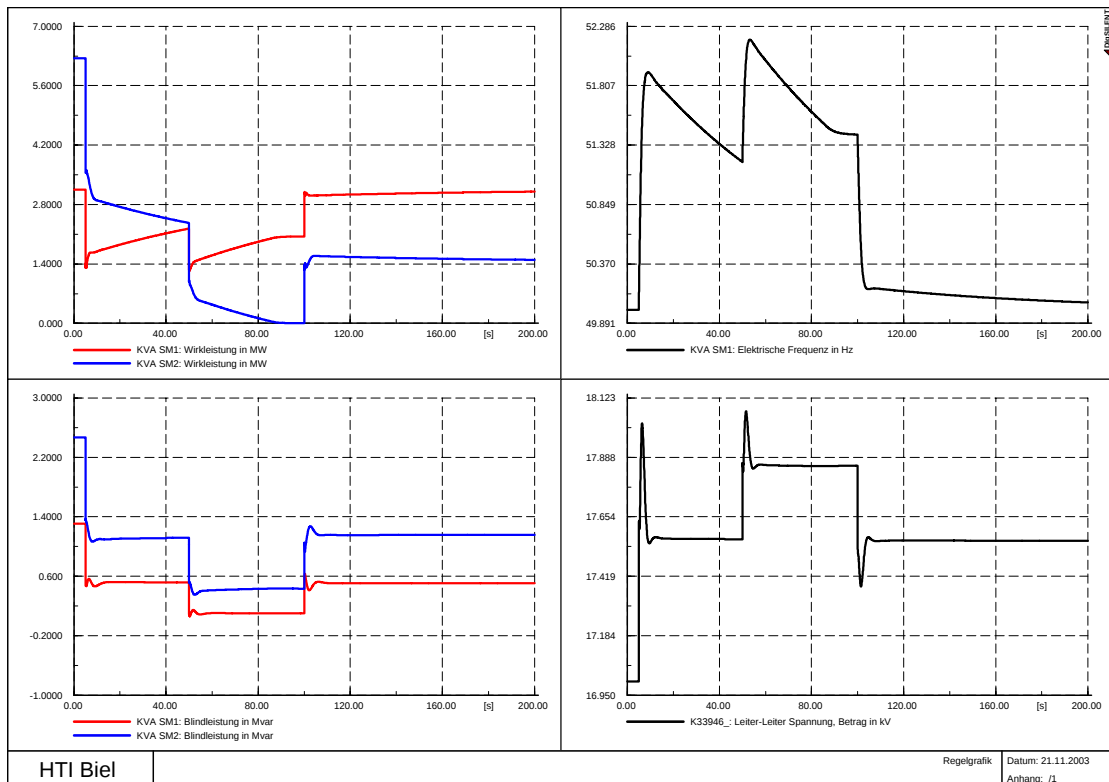


Abbildung 42: Leitungs-, Spannungs- und Frequenzverläufe im Inselnetz mit Primär- und Sekundärregelung bei Laständerungen

6.3. ZUSAMMENFASSUNG DYNAMISCHE SIMULATIONEN

Im Mittelspannungsnetz des AEW sind bereits heute eine grössere Anzahl von dezentralen Einspeisungen vorhanden, deren Summenleistung einen Inselbetrieb von Teilnetzen erlauben würden. Unter der Voraussetzung, dass die entsprechende Regelorgane vorhanden sind, kann eine ausreichende Spannungs- und Frequenzstabilität erzielt werden.

Falls eine grössere Anlage mit einer sekundären Frequenzregulierung ausgestattet ist, lässt sich die Frequenz nach Eintritt von Störungen, wie beispielsweise Lastzuschaltungen und Lasttrennungen innerhalb von 1 bis 2 Minuten wieder auf den Sollwert zurückführen.